

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Identifikace člověka podle stylu chůze

Human Identification According to the Style of Walking

2014

Lukáš Krupčík

Zadání bakalářské práce

Student:

Lukáš Krupčík

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Identifikace člověka podle stylu chůze
Human Identification According to the Style of Walking

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh programu, který umožní identifikaci člověka na základě jeho stylu chůze.

1. Seznamte se s problematikou týkající se stylu chůze člověka.
2. Analyzujte videozáznam a navrhnete postup při vyhledávání základních vlastností popisujících styl chůze.
3. Zvažte možnost použití a implementaci neuronových sítí v procesu učení i rozpoznávání.
4. Navrhnete program pro rozpoznávání člověka na základě jeho stylu chůze.
5. Implementujte navržený program v prostředí MS Windows.
6. Proveďte zhodnocení dosažených výsledků.
7. Vypracujte uživatelskou a programátorskou dokumentaci.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Ščurek, R.: Biometrické metody identifikace osob v bezpečnostní praxi, červen 2008
- [2] Bromba, M.: Bioidentification [online]. 2007 [cit. 2007-11-10]. Dostupný z [www: <http://www.bromba.com>](http://www.bromba.com)
- [3] FBI Biometric: Center of Excellence [online]. [1995] [cit. 2007-12-11]. Dostupný z [www: <http://www.fbibiospecs.org/fbibiometric/biospecs.html>](http://www.fbibiospecs.org/fbibiometric/biospecs.html)

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Lačezar Ličev, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



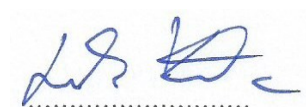
doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci na téma Identifikace člověka podle stylu chůze vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány a uvedeny v seznamu literatury na konci této práce.



Lukáš Krupčík

Poděkování

Rád bych především poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce, panu doc. Ing. Lačezaru Ličevovi, CSc., za jeho cenné rady a připomínky.

Mé poděkování patří také všem, co mi pomáhali při shánění informací, které jsem použil při psaní této práce a především bych chtěl poděkovat svému dědovi a rodině za umožnění studia na vysoké škole.

Abstrakt

V bakalářské práci, s názvem Identifikace člověka podle stylu jeho chůze, se zabývám nalezením postupu, jak z videozáznamu identifikovat osobu podle chůze.

V kapitolách této práce se zabývám biometrií, chůzí, zpracováním a analýzou obrazu a možností využít neuronovou síť pro rychlejší identifikaci osoby. V této práci se nepracuje přímo s videozáznamem, ale pracuje se sekvencí snímků vyextrahovaných ze záznamu. Součástí této práce je i program implementovaný pro systémy Microsoft Windows, uživatelská dokumentace a programátorská dokumentace.

Klíčová slova

Identifikace, chůze, biometrie, behaviometrika, obraz, filtrace, neuronová síť

Abstract

In my bachelor thesis, which is called Identification of a Person According to the Style of Walking, I aim to find a procedure, which can identify a person from a video recording according to the style of his walk.

The chapters of the thesis are mostly dedicated to the biometrics, walk, adjustment and analysis of a picture, and the possibility for the usage of neuron network for a quicker identification of a person. However, I do not deal with a video recording directly as I rather work with the sequence of shots, which are extracted from the recording. The part of the thesis itself is also a program, which is programmed for the Microsoft Windows system, user's guide and the programmer's guide.

Key words in English

Identification, walk, biometrics, behaviometrics, image filtering, neural network

Seznam použitých symbolů a zkratek

DNA	řetězec deoxyribonukleové kyseliny
3D	trojrozměrný
CCD	complementary metal-oxide-semiconductor, obrazový senzor
AD	analogově digitální převodník
RGB	červená, zelená, modrá
RGBA	červená, zelená, modrá a průhlednost
CMY	modrozelená, purpurová a žlutá
CIE	mezinárodní komise pro osvětlování (Commission internationale de l'éclairage)
XOR	exkluzivní disjunkce
SOM	Self-Organizing Maps, Kohenenovy mapy
VŠB-TU	Vysoká škola Báňská – Technická univerzita

Obsah

1. ÚVOD	1
2. ÚVOD DO BIOMETRIE.....	2
2.1 ZÁKLADNÍ POJMY	2
2.2 METODY AUTENTIZACE	2
2.3 ELEKTRONICKÉ BIOMETRICKÉ ROZPOZNÁVACÍ SYSTÉMY	3
2.3.1 Biometrické informace používané pro identifikaci	3
2.4 BEHAVIOMETRIKA	4
2.4.1 Dynamika chůze	5
2.4.1.1 Kinematika krokového cyklu	6
2.4.1.1.1 Oporná fáze	6
2.4.1.1.2 Švihová fáze	9
2.4.1.2 Kinetika krokového cyklu	9
2.4.1.3 Bipedální identifikace	12
2.5 ČEŠI A BEHAVIOMETRIKA	13
3. ANALÝZA VIDEOZÁZNAMŮ	14
3.1 ZHOTOVENÍ VIDEOZÁZNAMU	14
3.2 OBRAZ	14
3.2.1 Digitalizace obrazu	14
3.2.2 Barevné modely	15
3.3 PŘEDZPRACOVÁNÍ OBRAZU	16
3.3.1 Transformace jasu	16
3.3.2 Filtrace zahrnující okolí	18
3.3.3 Prahování	20
3.4 DETEKCE POHYBU	21
3.5 ELIMINACE POZADÍ	21
3.6 HLEDÁNÍ BODŮ V KONTUŘE ČLOVĚKA	22
4. ANALÝZA MOŽNOSTI VYUŽITÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ PŘI IDENTIFIKACI OSOBY PODLE CHŮZE	26
4.1 PRINCIP SÍTĚ	26
4.2 NEURON	27
4.3 HROZBA PŘEUCENÍ SÍTĚ	28
4.4 SAMOUČÍCÍ SE NEURONOVÁ SÍŤ	28
4.5 VYUŽITÍ NEURONOVÝCH SÍTÍ	29
5. ZÁVĚR.....	30
6. POUŽITÉ VZORCE A SYMBOLY, VYSVĚTLENÍ CIZÍCH SLOV	31
6.1 POUŽITÉ SYMBOLY A VZORCE	31
6.2 VÝZNAM CIZÍCH SLOV	32
7. LITERATURA	33
PŘÍLOHY	34

Seznam tabulek

Tabulka 1	Porovnání biometrických metod.....	4
-----------	------------------------------------	---

Seznam grafů

Graf 1	Průběh pohybů v hlavních kloubech	6
Graf 2	Kinematika krokového cyklu	9
Graf 3	Vzorkování	15
Graf 4	Gamma korekce.....	18
Graf 5	Příklad Gaussova rozdělení	19
Graf 6	Průběhy kloubů.....	25

Seznam obrázků

Obrázek 1	Dynamika chůze	5
Obrázek 2	Období postupného zatěžování.....	7
Obrázek 3	Období střední opory	8
Obrázek 4	Období aktivního odrazu	8
Obrázek 5	Bipedální přechod mezi fázemi dvojí opory	12
Obrázek 6	Zdroje informací pro bipedální identifikaci.....	12
Obrázek 7	Ukázka z prezentace projektu Jiřího Strause a Jiřího Jonáka	13
Obrázek 8	Vyextrahované obrazy z videozáznamu	14
Obrázek 9	Reprezentace barevného prostoru RGB a CMY.....	16
Obrázek 10	Převod RGB na GREY	17
Obrázek 11	Gamma korekce.....	17
Obrázek 12	Operace uvažující okolí.....	18
Obrázek 13	Aplikace Gaussova vyhlazení.....	19
Obrázek 14	Metoda jednoduchého prahování	20
Obrázek 15	Obraz pozadí a vstupní obraz	21
Obrázek 16	Diferenční snímek	21
Obrázek 17	Prosté prahování (a), Aplikace binární mapy na původní obraz (b).....	22
Obrázek 18	Hledané body v kontuře.....	22
Obrázek 19	Ohraničení kontury osoby	23
Obrázek 20	Zjištění umístění bodu hlavy (a), Nalezení kyčelního bodu (b)	23
Obrázek 21	Nalezení hlezenního kloubu1 (a), Nalezení bodu kolene1 (b)	24
Obrázek 22	Nalezení všech bodů v kontuře osoby	24
Obrázek 23	Model neuronu	27
Obrázek 24	Skupina neuronů.....	27

1. Úvod

Již naši dávní předci ovládali schopnost identifikace známé osoby na dálku. Chůze člověka je jedinečná a svým způsobem neměnná, je to dáno tím, že člověk je jedinečný svým pohybovým svalově kosterním systémem a svým dynamickým stereotypem. Z toho plyne, že napodobení chůze jiného člověka není zcela možné. Vizuálně se možná chůze bude podobat, ale po důkladné analýze zjistíme, že tomu tak není.

Chůze se věkem vyvíjí, a proto spolehlivost takovéto identifikace je omezená. Je závislá i na momentálním stavu jedince – může mít například zranění nohy anebo malé boty.

S rozvojem informačních technologií můžeme schopnost rozpoznání osob aplikovat na moderní záznamové zařízení. Dosud používané přístupové metody, jako je rozpoznání hlasu, otisky prstů, identifikace podle oční duhovky, či skenování obličeje je možné oklamat použitím vhodné náhrady (alespoň u některých). Řešením by mohlo být použití kombinací těchto metod, či jinou, bezpečnější metodu. Vědní obor zabývající se touto studií se jmenuje biometrie. Biometrii se věnuje jedna z kapitol této práce. V této kapitole je obsažen i rozbor chůze.

Jako bezpečnější metoda by mohla být použita identifikace podle chůze, či kombinace jiné metody z touto metodou. V dnešní době nás na každém našem kroku snímá několik kamer současně. Tím je zajištěna bezpečnost osob a majetku, v případě trestné činnosti lze pachatele sledovat a identifikovat z kamerového systému z okolí, kde došlo k trestné činnosti. Na základě této metody může být identifikován pachatel trestného činu.

Práce je dále rozdělená do kapitol zabývajících se zpracováním a analýzou sekvence snímků vyextrahovaných z videozáznamu a kapitolou zabývajících se neuronovými sítěmi a jejich využitím v procesu identifikace osoby.

2. Úvod do biometrie

Biometrie se řadí mezi vědní obory zabývající se především studiem a zkoumáním člověka. Zabývá se měřením jeho biologických (jak anatomických, tak i fyziologických) vlastností. Slovo biometrika je odvozena z řeckých slov *bios* (život) a *metrom* (měření). Doslovný překlad je měření živého.

Biometrika se především věnuje studiu metod vedoucích k rozpoznání určitých charakteristik u člověka. Dále se zabývá studiem metod vedoucích k rozpoznání člověka na základě jeho unikátních proporcí a vlastností.

2.1 Základní pojmy

Pro snadnější orientaci v problematice biometrie je nutné definovat základní pojmy. Tyto pojmy mají původ v anglickém jazyce a do českého jazyka jsou často nesprávně překládány.

- **Recognition (rozpoznávání)**
Jde o rozpoznání člověka použitím jeho vhodné tělesné vlastnosti.
- **Verification (ověření, nebo verifikace)**
Tím se označuje proces, kde biometrický systém potvrzuje totožnost osoby na základě porovnání sejmутého vzorku s již dříve zapsaným vzorkem (šablonou).
- **Identification (identifikace)**
Tím se označuje proces, kde se biometrický systém pokouší určit totožnost neznámé osoby. Biometrická informace je sejmuta a porovnána se všemi uloženými vzorky (šablonami).
- **Authentication (autentifikace, autentizace, nebo legalizace)**
Zde se jedná o termín, který lze sloučit s termínem rozpoznávání. Ale na konci tohoto procesu získá osoba určitý status.

2.2 Metody autentizace

Veškeré systémy, které pracují s automatizovaným přístupem, jsou závislé na principu, kterým je přístup zabezpečen. Existují tři mechanismy pojetí a to použití hesla, předmětu nebo biometrického prvku.

- **Autentizace heslem**
Bezpečnost je zajištěna tím, že omezený počet uživatelů zná přesnou posloupnost znaků umožňující přístup do chráněné oblasti.
- **Autentizace předmětem**
Bezpečnost tohoto principu je zaručena vlastnictvím speciálního předmětu – tokenu, který je pro přístup do systému vyžadován
- **Biometrická autentizace**
Zde je využito unikátních tělesných proporcí pro identifikaci osoby. K hlavním výhodám této autentizace patří fakt, že není nutné vlastnit přístupový token, nebo si pamatovat přístupové heslo.

Biometrická autentizace patří mezi rychlé, pohodlné a přesné metoda, navíc patří k levnému řešení, neobsahují dodatečné investice. Mezi jejich hlavní výhody patří také částečná skutečnost neměnnosti biometrických znaků jedince. Tyto znaky (většina) nelze odcizit, či zapomenout.

Podstatou veškerých biometrických systémů je autentizované snímání biometrických charakteristik a jejich následné porovnání s údaji, které byly předem sejmuté a jsou uložené v databázi.

2.3 Elektronické biometrické rozpoznávací systémy

Využití elektronických biometrických rozpoznávacích systému má široké uplatnění. Tyto systémy se používají v soukromé nebo forenzní sféře.

2.3.1 Biometrické informace používané pro identifikaci

Podmínky výběru biologické nebo behaviorální vlastnosti člověka určující jeho identifikaci jsou determinována v co nejširším a nejefektivnějším způsobu užití. Takováto vlastnost člověka musí splňovat:

- jedinečnost - vlastnost musí být co nejvíce výjimečná, tzn., že se shodná vlastnost nesmí objevit u více lidí současně
- universálnost - vlastnost musí být měřitelná u co největší množiny lidí
- trvalost - vlastnost musí být stále stejná ve větším časovém období
- měřitelnost - vlastnosti musí být měřitelné shodnými prostředky
- pohodlnost - vlastnost musí být snadno a pohodlně měřitelná

Biometrické vlastnosti používané při identifikaci.

- otisk prstu - struktura papilárních linií a jejich detailů
- dynamika podpisu - rozdíly v tlaku a rychlosti psaní
- geometrie tváře - vzdálenost mezi specifickými částmi – oči, nos, ústa...
- duhovka oka - obrazový vzorec duhovky
- sítnice oka - struktura žil na očním pozadí
- geometrie ruky - rozměry dlaně a prstů
- struktura žil na zápěstí - struktura žil
- tvar ucha - rozměry viditelné části ucha
- hlas - tóny a hlasové zabarvení
- DNA - nositel genetické informace
- dynamika chůze - rozdíly mezi specifickými body na těle při chůzi
- pach - chemické složení
- psaní na klávesnici - rytmus úderů do klávesnice PC

Biometrika	Přesnost	Cena	Proměnlivost v čase	Uživatelská příjemnost	Celkem
Otisk prstu	●●●	●○○	●○○	●●○	●●●
Geometrie ruky	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○
Rozpoznání obličeje	●●○	●●○	●●○	●○○	●●○
Oční duhovka	●●●	●●●	●○○	●○○	●●●
Oční sítnice	●●●	●●●	●●○	●●●	●●○
Lůžko nehtu	●●●	●●○	●●○	●●○	●●○
Dna	●●●	●●●	●○○	●●●	●●○
Ověřování hlasu	●○○	●○○	●●●	●○○	●●○
Dynamika podpisu	●○○	●○○	●●○	●○○	●●○
dynamika stisku kláves	●●○	●○○	●○○	●○○	●●○
Dynamika chůze	●●○	●●○	●○○	●●●	●●○

hodnota

nízká ●○○

střední ●●○

vysoká ●●●

Tabulka 1 Porovnání biometrických metod

Způsoby vzniku biometrické vlastnosti u člověka se rozlišují do tří faktorů:

- genotypické - uplatňuje se vliv dědičnosti (DNA)
- randotypické - náhodné varianty vzniku v časném stádiu vývoje embrya
- behaviorální - učení a výchova: chování jedince

Tyto tři faktory mohou za vývoj biometrické vlastnosti, ačkoliv každý v jiné míře. Důležitějším požadavkem na biometrickou vlastnost je její stálost v čase, aby nedocházelo k její změně způsobené stárnutím člověka. Příčiny změn biometrických vlastností je několik. Hlavní příčinou je vliv růstu živé tkáně, opotřebení, biologické stárnutí, špína a nečistoty, zranění a následné hojící procesy či jinak nespecifikované vlivy. Ty biometrické vlastnosti, trpící nejméně těmito příčinami, se nejčastěji používají.

2.4 Behaviometrika

Behaviometrika je řazena mezi speciální podkapitoly biometriky, ve které sledujeme vlastnosti (nikoliv fyzických parametrů) člověka. Příkladem je styl jakým člověk píše na klávesnici – četnost úderu, rytmika – to je pro každého člověka jedinečné. Díky tomu lze odhalit změnu uživatele a zablokovat tak systém.

Behaviometrika se dále zabývá studiem stylu chůze. Umožní nám identifikovat osobu i na velkou vzdálenost (teoreticky i ze záběru z družic). Problémem behaviometriky je skutečnost, že se časem mění.

- **Psaní na klávesnici**

Sleduje se dynamika úhozů na klávesnici. Doba stisknutí klávesy a prodleva mezi stisky kláves.

- **Dynamika podpisu**

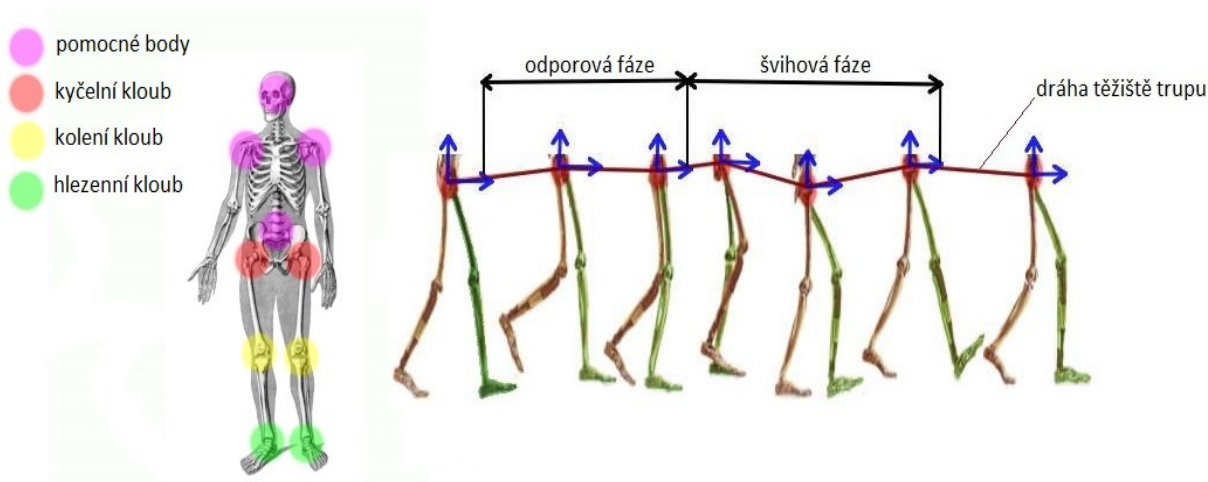
Využívá jedinečnou kombinaci anatomických a behaviorálních vlastností člověka, které se projeví při podpisu. Zjišťuje se tlak, tah a tvar při psaní.

- **Dynamika chůze**

Tak jako u otisku prstu je i pohyb člověka jedinečný a svým způsobem neměnný v relativně širokém časovém období.

Stejně jako při identifikaci podle písma je rozlišovacím znakem jedinců různý dynamický stereotyp, u písma se jedná o stereotyp ruky a u chůze o pohyb celého těla. Tato metoda má veliký význam při identifikaci pachatelů trestních činností, pro které je zbytečné se jakkoliv maskovat, či použít převlek. Další významem této metody je v současnosti prudký rozvoj nasazování průmyslových kamer na rušných místech – letiště, náměstí, atd. Uplatnění této metody je tedy nejvhodnější ve forenzní sféře, kde bohužel doposud neexistuje databáze srovnávacího materiálu.

Metoda pracuje na základě porovnání křivek drah, které opisují určité body na lidském těle. Jelikož je každý člověk jedinečný svým pohybovým svalově kosterním systémem a svým dynamickým stereotypem, jsou křivky uvažovaných bodů unikátní a vhodné pro srovnání, či identifikaci. Způsob vytvoření těchto křivek je na obrázku níže.



Obrázek 1 Dynamika chůze

2.4.1 Dynamika chůze

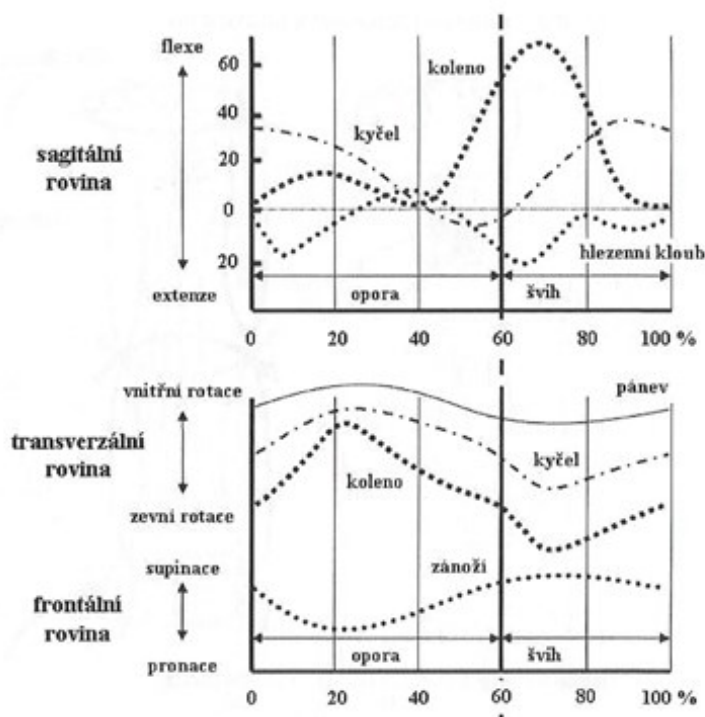
Bipedální chůze je základní způsob lidské lokomoce po dvou dolních končetinách. Chůze se dělí na tři hlavní části. Na zahajovací fázi, cyklickou fázi a ukončovací fázi. Při cyklické fázi vykonává dolní končetina opakované, cyklické pohyby, které popisujeme v rámci krokového cyklu.

Krokový cyklus se dělí na dvě hlavní fáze – opornou a švihovou, které lze dále rozdělit na jednotlivá období. Oporná fáze začne při kontaktu paty s podložkou. Prvním obdobím je období postupného zatěžování až do okamžiku kdy dojde k položení celé plosky. Poté nastane období střední opory, které je zakončeno okamžikem odlepení paty od podložky. Pro pohyb vpřed je nejdůležitější období aktivního odrazu. Posledním obdobím je období pasivního odlepení od podložky, zakončené okamžikem zvednutí špičky. Fázi švihovou lze rozdělit na období zahájení švihu, období středního švihu a období ukončení švihu.

Při srovnání krokových cyklů obou končetin lze určit fázi dvojí opory a fázi jedné opory. Krok lze vyjádřit jako vzdálenost mezi místem dopadu pravé a levé paty, dvojkrok vyjadřuje vzdálenost mezi místy dopadu paty jedné dolní končetiny na začátku cyklu a konci jejího krokového cyklu.

2.4.1.1 Kinematika krokového cyklu

Průběh pohybů v hlavních kloubech dolní končetiny lze vidět na grafu 1.



Graf 1 Průběh pohybů v hlavních kloubech

Základní charakteristiky a principy lidské bipedální chůze jsou společné, přesto existuje poměrně velká interindividuální variabilita v jejich načasování a kvalitativním a kvantitativním vyjádření. Například Pohl, Messenger a Buckley (2007) pomocí 3D kinematické analýzy zjistili, že korelace mezi okamžikem maximální *pronace*, resp. *supinace* (viz kapitola 6.2) zánoží a vnitřní, resp. zevní rotace bérce je poměrně velká při běhu ($r = 0,95$), ale výrazně nižší při chůzi (0,45). Navíc během chůze dochází k maximální vnitřní rotaci bérce podstatně dříve než při běhu (u chůze v 17% doby fáze opory, u běhu v (37%) a při chůzi zůstává zánoží také déle pronované než při běhu.

Z těchto nálezů vyplývá, že při běhu je možnost identifikace osoby mizivá.

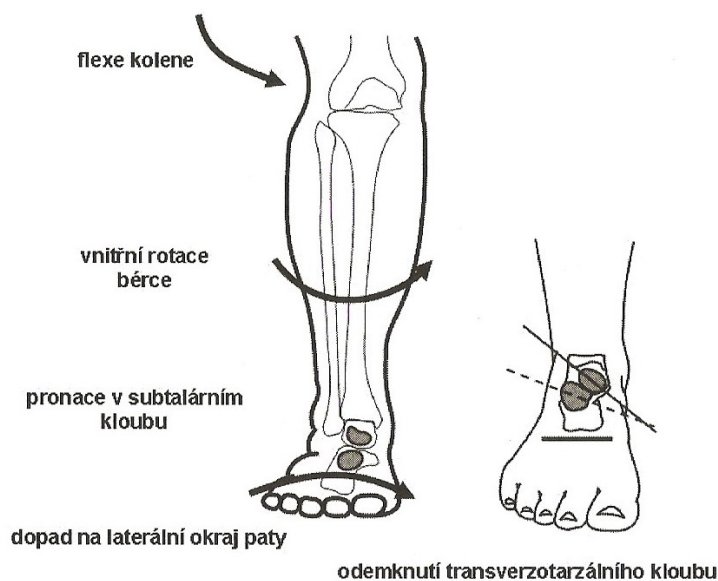
2.4.1.1.1 Oporná fáze

- **Období postupného zatěžování**

Oporná fáze krokového cyklu začne okamžikem dopadu paty na podložku obdobím postupného zatěžování. Hlezenní kloub je v *dorziflexi* (viz kapitola 6.2), či v neutrální poloze a zahájí pasivní *plantární flexi* (viz kapitola 6.2), při které je na podložku položena ploska nohy. V supinovaném *subtalárním* (viz kapitola 6.2) kloubu dojde k pronaci, která je vyvolána iniciálním kontaktem na laterálním výběžku hrbolu patní kosti, přičemž vektor reakční síly podložky směřuje zevně od osy subtalárního kloubu.

Naopak v *transverzotarzálním* (viz kapitola 6.2) kloubu proběhne relativní supinace okolo *longitudinální* (viz kapitola 6.2) osy vzhledem k výrazně pronujícímu zánoží. Vzhledem k podložce sice přednoží také pronuje, ale ne tolik jako zánoží. Tuto relativní supinaci přednoží vzhledem k zánoží umožňuje pohyb kolem osy *transverzotarzálního* (viz kapitola 6.2) kloubu.

Pronace v subtalárním kloubu zároveň vyvolává *addukci talu* (viz kapitola 6.2) a vnitřní rotaci bérce. To je v souladu s pohybem do *flexe* (viz kapitola 6.2) v kolenním kloubu, který byl před dopadem paty na podložku téměř v plné *extenzi* (viz kapitola 6.2). V kyčelním kloubu pokračuje pohyb do extenze zahájený již krátce před dopadem paty. Pánev rotuje na stranu nové oporné dolní končetiny, tedy do vnitřní rotace v kyčelním kloubu. Právě rotace v kyčelním kloubu v *transverzální* (viz kapitola 6.2) rovině je příkladem velké interindividuální variability. Ta je dána anatomicky, určitou roli hraje i způsob individuálně naučeného motorického vzoru chůze.

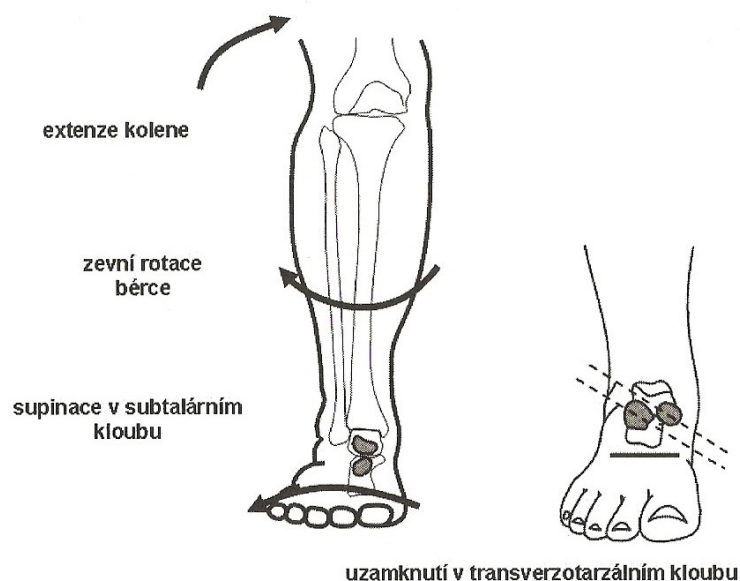


Obrázek 2 Období postupného zatěžování

- **Období střední opory**

Po dosažení plného kontaktu ploskou následuje období střední opory. Kloub hlezenní byl při dosažení plného kontaktu plantárně flektován a nyní probíhá „pasivní“ dorziflexe. V subtalárním kloubu začíná supinace. Příčinou je částečný přesun zatížení na přednoží a částečné odlehčení paty. Zároveň s tím již začíná probíhat i *dorzální flexe* (viz kapitola 6.2) *metatarzofalanfedálního* (viz kapitola 6.2) kloubu a tím se uplatňuje kladkový mechanismus plantární *aponeurózy* (viz kapitola 6.2), jejíž mediální část je více napjata a způsobuje tak supinaci.

Kolenní kloub po dosažení maximální flexe (jde o maximální flexi v rámci oporné fáze, k podstatně výraznější flexi dochází během švihové fáze) zahajuje extenzi, která je provázena zevní rotací bérce s abdukci talu, což je ve shodě s výše uvedenou supinací v subtalárním kloubu. V kyčelní kloubu dále pokračuje pohyb do extenze.

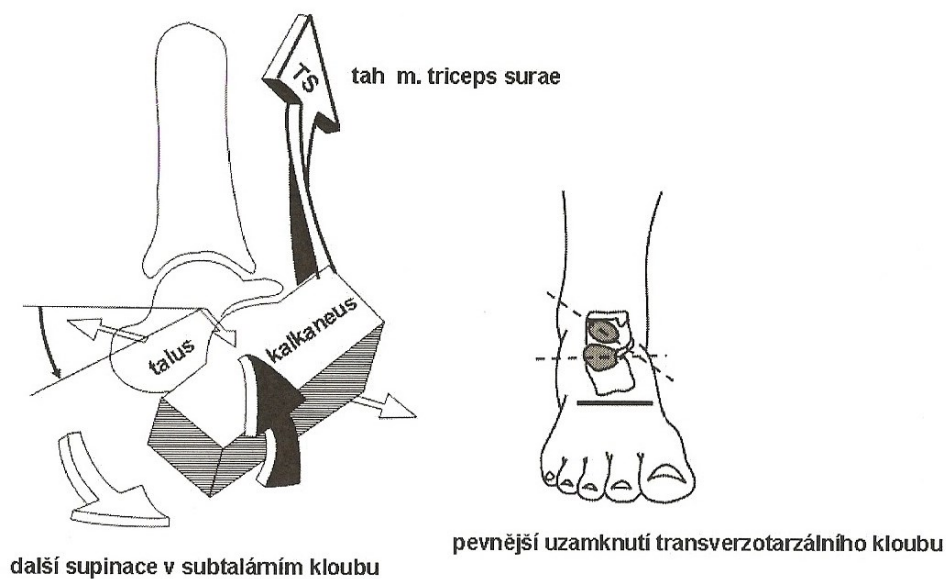


Obrázek 3 Období střední opory

- **Období aktivního odrazu**

V období aktivního odrazu probíhá aktivní plantární flexe v kloubu hlezenním. Tato flexe je výsledkem aktivity lýtkových svalů, především *musculus triceps surae* (viz kapitola 6.2). V subtalárním kloubu pokračuje supinace, mimo jiné i vlivem tahu *musculus triceps surae*. V transverzotarzálním kloubu pokračuje relativní pronace kolem *longitudinální* (viz kapitola 6.2) osy, zatížení nohy se přesouvá mediálně dopředu, laterální oblouk je akcentován.

Kolenní kloub dosahuje maximální extenze v rámci krokového cyklu, poté opět zahajuje flexi. Kyčelní kloub dosahuje nulového postavení a pokračuje dále do extenze.



Obrázek 4 Období aktivního odrazu

- **Období pasivního odlepení**

V období pasivního odlepení pokračuje plantární flexe v hlezenním kloubu, v kloubu subtalárním pokračuje supinace, v transvertarzálním kloubu relativní pronace kolem longitudinální osy. Nadále probíhá již dříve zahájená flexe v kolenním kloubu. Kyčelní kloub dokončí maximální extenzi a je zahájená rychlá flexe.

2.4.1.1.2 Švihová fáze

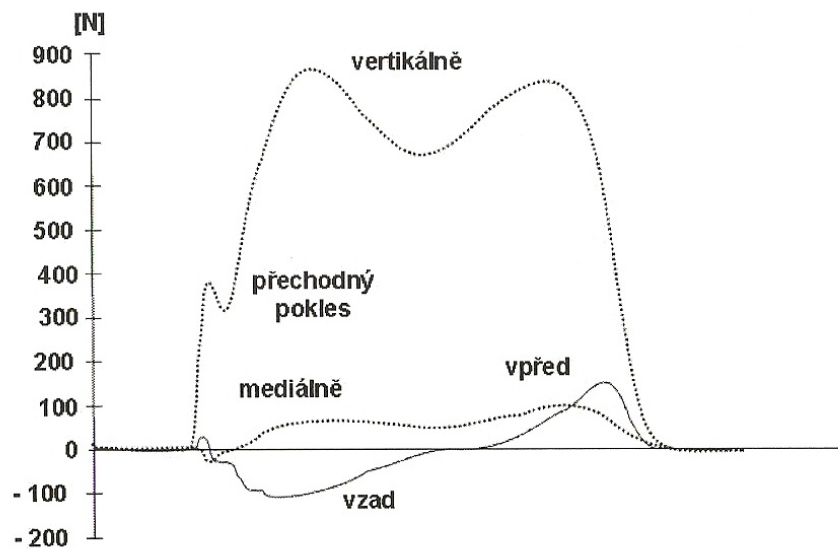
Švihová fáze začíná v okamžiku zvednutí špičky obdobím počátečního švihu, zrychlení. V kyčelním kloubu probíhá flexe. V kloubu kolenním zpočátku pokračuje pohyb do flexe, který v první polovině švihové fáze přechází do extenze.

Hlezenní kloub zpočátku ještě krátce pokračuje v plantární flexi, která ale postupně přechází v pohyb do dorziflexe, takže v období středního švihu dosáhne zhruba nulového postavení. Subtalární kloub po ztrátě kontaktu nohy s podložkou funguje v otevřeném řetězci. Nejdříve patní kost pronuje, těsně před kontaktem paty s podložkou ale dojde k supinaci. Transverzotarzální kloub je zpočátku maximálně pronován, před dopadem paty dojde k jeho supinaci.

Počáteční zevní rotace *femuru* (viz kapitola 6.2) se mění na vnitřní rotaci ve chvíli, kdy kontralaterální polovina pánve a spolu s ní femur nyní stejné dolní končetiny začnou rotovat zevně.

2.4.1.2 Kinetika krokového cyklu

Podle Newtonových zákonů lze pohyb vyvolat pouze působením síly. V případě bipedální chůze je do analýzy zahrnuta síla (resp. moment síly) svalů dolních končetin jako je síla vnitřní a reakční síla podložky, setrvačnost a tíhová síla jako síly vnější.



Graf 2 Kinetika krokového cyklu

Lokomoce člověka je typicky pedální lokomocí – hlavní práci potřebnou pro přesun v prostoru vykonávají svaly končetin. Tím se liší od apedální lokomoce, kterou je např. plazení, kdy hlavní práci vykonávají svaly trupu.

Bipedální chůze člověka je tedy umožněna prací svalů jeho dolních končetin. Vzhledem ke skutečnosti, že člověk kráčí po dvou dolních končetinách se vzpřímeným trupem, může svaly trupu a

horních končetin využít pro lokomoci pouze omezeně. Segmenty trupu a horních končetin se pohybují pouze v otevřeném řetězci a k lokomoci přispívají pouze svoji setrvačností.

Svaly dolních končetin pracují v oporné fázi v uzavřeném řetězci a vykonávají v tomto případě hlavní práci. Síla svalů jako vnitřní síla systému není v zásadě schopna sama vyvolat pohyb segmentového systému v prostoru, je pouze schopna změnit postavení segmentů. Vlastní síla svalů tedy vyvolává lokomoční pohyb prostřednictvím reakční síly okolí. Ve fázi švihové svaly pracují jako svaly trupu a horních končetin v otevřeném řetězci. Tím sice nepřispívají k udělení momentu hybnosti společnému těžišti těla, ale ovlivňují např. frekvenci kroků.

Svaly lýtky jsou aktivní během období odrazu v druhé polovině oporné fáze, extenzory kyčelního kloubu na začátku oporné fáze po dopadu paty na podložku. Obě tyto skupiny pracují v uzavřeném řetězci a udělají zrychlení společnému těžišti těla.

Funkce svalů zrychlující nebo zpomalující pohyb švihové dolní končetiny je velmi důležitá. Pokud by švih končetiny probíhal pouze volným kyvadlovým pohybem s neměnnou délkou kyvu a dobou jeho trvání, nebylo by možné měnit frekvenci kroků a s ní rychlost chůze. Práce svalů uděluje (prostřednictvím reakční síly) těžišti těla určitou *kinetickou energii* a vzhledem k poměrně vysoké poloze trupu nad podložkou má společné těžiště těla i poměrně velkou *energií potencionální*.

V grafu 2 mají křivky těchto dvou typů energie průběh opačných sinusoid. V okamžiku, kdy má potencionální energie maximální velikost, je energie kinetická na minimu a naopak. Tyto dva typy energie se neustále mění jedna v druhou, ovšem každá změna je provázená určitou ztrátou. Z hlediska energetické ekonomiky chůze je tedy žádoucí co nejvíce omezit přeměnu energie. Důležitým faktorem je omezení změn výšky těžiště – to je možné díky rotaci pánve ve třech rovinách a koordinovanými pohyby v kloubech kyčelních a kolenních. Pokud je některý z těchto pohybů omezen, či znemožněn, např. nemocí, nebo úrazem, vede to jednak ke zvýšení energetické náročnosti chůze a také k přetěžování ostatních kloubů, ve kterých je kompenzačně pohyb naopak zvýšen.

- **Hlezno a noha**

Perry (1992) popisuje kinetiku krokového cyklu na úrovni nohy a hlezna v sagitální rovině pomocí modelu *tří kolébek* či *zhoupnutí*. Tato tři zhoupnutí mají umožnit co nejplynulejší pohyb s minimální ztrátou kinematické energie.

- **První zhoupnutí**

Probíhá po dopadu paty na podložku přes *kolébkou* zadního okraje patní kosti. Přes něj v tomto období prochází vektor reakční síly podložky a setrvačná síla tlačí plosku nohy k podložce. Tento pohyb je brzděn excentrickou kontrakcí svalů, které sestupují k noze od přední strany bérce. V období střední opory prochází vektor reakční podložky před hlezenním kloubem, kolem kterého probíhá druhé zhoupnutí.

- **Druhé zhoupnutí**

Noha je zatížením fixována k podložce a bérce se vzhledem k ní pohybuje vpřed. Tento dorziflekční pohyb nohy je brzděn aktivitou *plantárních flexorů* (viz kapitola 6.2) hlezenního kloubu, zpočátku především *musculus soleus* (viz kapitola 6.2), později i *musculus gastrocnemius* (viz kapitola 6.2) a dlouhého flexoru palce. S rostoucím momentem síly těchto svalů se zcela zastaví dorziflexe v hlezenním kloubu a nastává třetí zhoupnutí kolem kolébky hlaviček *metatarzů* (viz kapitola 6.2).

- Třetí zhoupnutí

Bérec se i nadále pohybuje vpřed, zvedá se pata a dříve *excentrická kontrakce* (viz kapitola 6.2) svalů lýtky přechází v *kontrakci koncentrickou* (viz kapitola 6.2). Svaly vykonávají *pozitivní práci*, musí nahradit ztrátu kinetické energie při zbrzdění během prvních dvou zhoupnutí. Také je nutné nahradit ztráty vzniklé při neelastické deformaci struktur pohybového systému.

Na začátku švihové fáze je v hlezenním kloubu asi 15° plantární flexe. Aktivitou svalů na přední ploše bérce noha přechází uprostřed švihové fáze do asi 5° dorzální flexe. Zároveň probíhají pohyby i v dalších rovinách, především frontální. Dále se uplatní i *musculus triceps surae* svým supinačním tahem.

• Kolenní kloub

Na začátku oporné fáze je koleno v téměř plné extenzi. Vektor reakční síly podložky prochází středem nebo lehce za osou kolenního kloubu a vyvolává tím flekční moment. Proti němu působí o něco menší moment extenzorů pracujících v excentrické kontrakci, takže v období střední opory je koleno ve zhruba 15° flexi.

Díky stabilizaci kolene aktivitou extenzorů mohou dvoukloubové flexory kolenního kloubu (*musculus semitendinosus* (viz kapitola 6.2), *musculus semimebranosus* (viz kapitola 6.2) a dlouhá hlava *musculus biceps femoris* (viz kapitola 6.2)) uplatnit svoji funkci jako extenzory kyčelního kloubu. Právě počáteční flexe kolene brzděná aktivitou jeho extenzorů se podílí na tlumícím mechanismu během první poloviny fáze opory spolu s plantární flexí hlezenního kloubu a supinací *kalkaneu* (viz kapitola 6.2). Při tlumení nárazu hraje významnou roli také vazivě-tuková vrstva pod patní kostí.

Pokud chce člověk zrychlit frekvenci kroků, musí podobně jako u kyvadla hodin na začátku švihové fáze udělit dolní končetině větší zrychlení a na konci naopak více přibrzdit. Toto zrychlení udělí bérce *musculus rectus femoris* (viz kapitola 6.2), *ischiokruální svaly* (viz kapitola 6.2) ho brzdí. Právě tyto svaly se ve své aktivitě střídají v období středního švihu. Rychlost chůze může být zvýšena pouze zvýšenou prací (výkonem) flexorů kyčelního kloubu a flexorů hlezenního kloubu.

• Kyčelní kloub

Na začátku oporné fáze je v kyčelním kloubu asi 35° flexe a vektor reakční síly podložky směřující za osu kloubu vyvolává extenční moment. Směřování vektoru reakční síly podložky více vzad odpovídá brzdění během první poloviny oporné fáze.

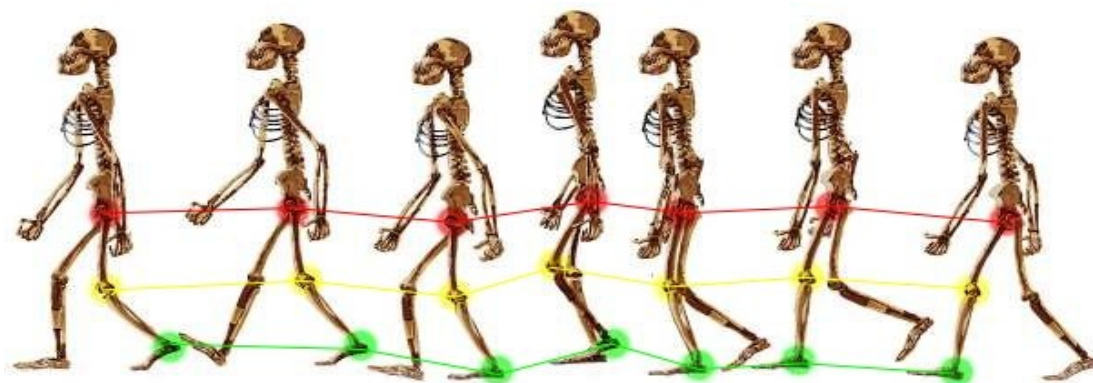
Extenčně působí také setrvačná síla v těžišti těla, která se nachází v malé pánvi přibližně v úrovni druhého *sakrálního obratle* (viz kapitola 6.2), a dále koncentrická kontrakce extenzorů kyčelního kloubu. Tento pohyb do extenze v kyčelním kloubu pokračuje téměř celou opornou fází krokového cyklu.

Ke konci oporné fáze koncentrická kontrakce *musculus triceps surae* a reakční síla podložky tlačí koleno vpřed a do flexe, což způsobí i *flexi* v kyčelním kloubu. Při rychlé chůzi *musculus rectus femoris* zastaví flexi kolene a tzv. *přeneseném tahu* na flexi v kloubu kyčelním. Flexe v kyčelním kloubu pokračuje až do druhé poloviny švihové fáze, kdy je

zbrzděna aktivitou extenzorů kyčle, a velmi pomalu klesá až do počátku fáze opory, kdy je opět zahájena rychlejší extenze.

2.4.1.3 Bipedální identifikace

Pro potřeby bipedální identifikace osob je důležitá kroková fáze, kde obě nohy spočívají na zemi (dvojitá opora) a fáze, kde tělo spočívá na jedné končetině a druhá osciluje (jednostranná opora). Přechod mezi těmito fázemi je znázorněn níže.

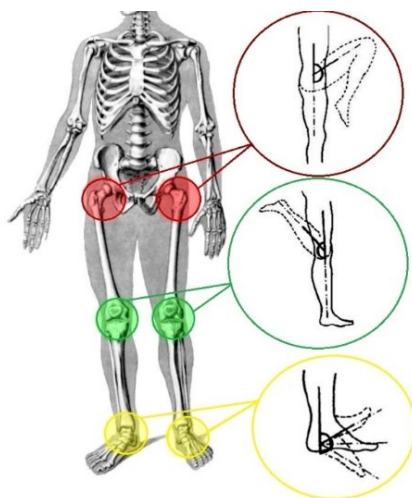


Obrázek 5 Bipedální přechod mezi fázemi dvojitá opora

Z anatomických výzkumů bylo zjištěno, že dynamický stereotyp chůze je stabilizován po sedmém roku života jedince, od kterého jsou při pohybu upevněny individuální bipedální charakteristiky. Ačkoliv je chůze vrozenou vlastností každého jedince druhu *homo sapiens sapiens*, učí se jedinec chodit sám a tak si vytvoří individuální pohybový projev a držení těla.

Spolehlivou bipedální identifikaci lze použít zejména u dospělých jedinců a pouze při chůzi. Problém nastane při identifikaci v případě běhu, kdy se nevyskytuje okamžik dvojitá opora a kdy navíc od určitého věku jedince se může projevit i tzv. ketová fáze - až 85% celého krokového cyklu není žádná končetina v kontaktu se zemí.

Pro základní identifikaci pomocí bipedální lokomoce je nejdůležitější detekce poloh kloubů kyčelního, kloubu kolenního a kloubu hlezniho, jejich rozsahy pohybů mezi *flexí a extenzí* jsou spolu částečně svázány.



Obrázek 6 Zdroje informací pro bipedální identifikaci

Časové průběhy horizontální polohy každého ze tří uvedených kloubů jsou unikátní informace o jedinci, které ale nemůže (na rozdíl od destrukce otisku prstu, nasazení zkreslující oční čočky, či úprava hlasu) svým vědomým chováním nijak ovlivnit. Nepočítá se ale, z nestandardními situacemi, jako je útěk z místa trestné činnosti, apod.

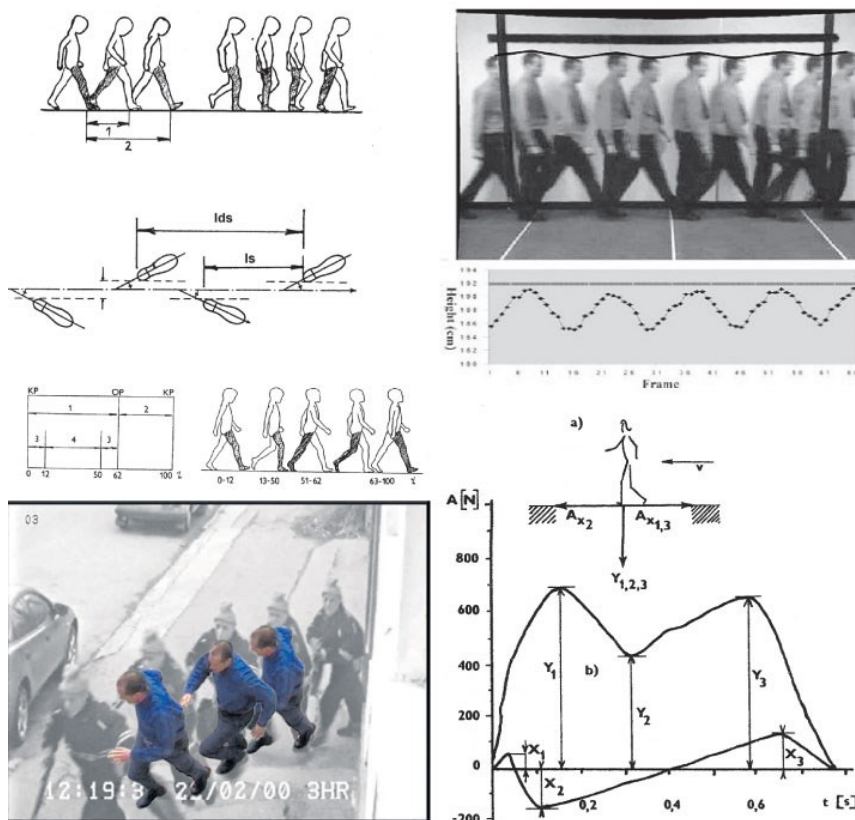
2.5 Češi a behaviometrika

V roce 2010 na Světovém mezinárodním sympozii forenzních věd získala Pražská Policejní akademie neprestížnější mezinárodní ocenění, jednu ze zlatých trofejí za projekt Jiřího Strause a Jiřího Jonáka (oba jsou profesory kriminalistiky).

Češi zvítězili v kategorii Biometrie. Jejich projekt s názvem Vliv obuvi na styl a charakteristiku chůze porota vyhodnotila jako vůbec nejlepší ze všech ostatních soutěžících týmů a jejich projektů. Předvedli metodu, pomocí které kriminalisté dokázali i z nekvalitního obrazového záznamu - například z bezpečnostní kamery, kde není vůbec vidět obličej - rozpoznat pachatele podle způsobu jeho chůze. Pracují na tom už více než deset let. Na konferenci před porotou ukázali, jak jednotlivé typy bot ovlivňují styl chůze, a tedy i rozpoznání pachatele.

Zjistili, že nejmenší vliv na chůzi má sportovní obuv, například tenisky. Jsou pohodlné a člověka neomezují. Takže ten charakteristický pohyb chůze, který má každý trochu jiný a lidé se podle něj dají rozeznat, zůstává nezměněný. Problém je, když si pachatel vezme například lodičky. Jsou nepohodlné a chůzi ruší. Člověk se v nich pokaždé kýve jinak a pachatel se nedá lehce identifikovat.

Soud na základě rozpoznání podle chůze už i pachatele odsoudil. To se zatím stalo jen jednou v případě přepadení benzinky v západních Čechách. Pachatele prozradila chůze zachycená bezpečnostní kamerou a dostal trest dva roky.



Obrázek 7 Ukázka z prezentace projektu Jiřího Strause a Jiřího Jonáka

3. Analýza videozáznamů

3.1 Zhotovení videozáznamu.

Videozáznam není nic jiného, než sekvence po sobě jdoucích obrazů. K zachycení takovéto sekvence obrazů slouží videokamery, analogové nebo digitální. V dnešní době se používají digitální kamery, které k pořízení záznamu využívají CCD senzory. Detailní vysvětlení obrazu je v kapitole 3.2.

Videozáznamy využití v této bakalářské práci jsou pořízeny na autokameře HD DEFENDER 720p. Materiály byly natočené na pozemku VŠB-TU – chodba pod aulou. Vzorky chůze byly poskytnuty studenty této školy. Všichni studenti souhlasili s využitím dat v této bakalářské práci.

Pro analýzu videozáznamu existuje více postupů, jak docílit stejného výsledku. Vybral jsem si postup, kde se pracuje se sekvencí statických obrazů, ze kterých získáváme potřebná data.



Obrázek 8 Vyextrahované obrazy z videozáznamu

Je ale nutné prvně osvětlit problematiku, která se týká práce s obrazem. Vysvětlit, co je to vlastně obraz, jaké jsou druhy obrazu a jak s obrazem pracovat.

3.2 Obraz

Obraz je obecně grafické vyjádření zpravidla o dvou rozměrech. Je možné jej zachytit v různých oblastech viditelného spektra, jako je například denní světlo, ale může být i pořízen v oblastech záření, které lidské oko nevidí. Příkladem jsou infračervené snímky, rentgenové snímky apod.

3.2.1 Digitalizace obrazu

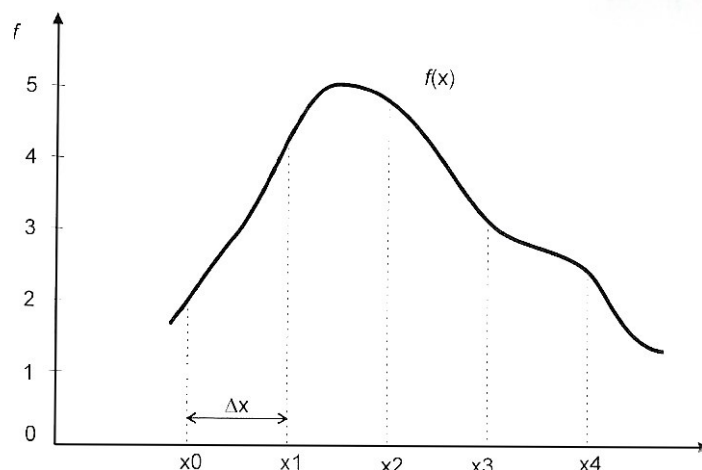
Všechno co vidíme v reálném světě, lze chápat jako spojitou veličinu neboli obrazovou funkci. Obvykle nelze zaznamenat a uložit veličinu jako spojitou, ale diskrétní hodnoty v počítači ukládat můžeme. Analogový (spojitý) signál reprezentující jas je pomocí snímáče převeden na diskrétní hodnoty. Proces přechodu analogového signálu k diskrétní hodnotě nazýváme digitalizace. V digitalizaci se setkáváme s pojmem pixel, kde pixel je jeden obrazový bod obsahující informaci o hodnotě jasu, barvě.

Jako snímáče obrazu jsou dnes používané obrazové senzory nazývané CCD. Vlastnosti těchto obrazových senzorů mohou značně ovlivnit výsledek snímání obrazu.

Digitální obraz můžeme popsat funkcí $f(i, j)$, kde i a j jsou prostorovými souřadnicemi. S digitalizací obrazu jsou spojeny dva termíny, vzorkování a kvantování.

- **Vzorkování**

Vzorkování neboli zaznamenávání hodnot (vzorků) v daných intervalech. Příklad vzorkování je předvedeno pro jednoduchost na jednorozměrné funkci $f(x)$ v grafu 3.



Graf 3 Vzorkování

Začneme bodem x_0 , kde budeme zaznamenávat hodnoty v diskrétních intervalech vzdálených o Δx : $x_0 + i\Delta x$, $i = 1, 2, 3 \dots$

Po převrácení hodnoty vzdálenosti jednotlivých vzorků dostaneme frekvenci vzorkování. Vzorkovací frekvence se potom vypočítá $f_s = 1/\Delta x$. Platí zde Shannonův teorém, který nám říká, že signál (obraz) lze rekonstruovat beze ztráty informace, pokud je vzorkován s frekvencí minimálně dvojnásobnou, než je maximální frekvence signálu obsaženého v obraze. Z toho plyne, že $f_{MAX} < 1/(2\Delta x)$.

- **Kvantování**

Jedná se o proces, kdy se naměřené veličině přiřadí zástupná diskretní hodnota. Analogová hodnota $f(x) = f(x_0 + i\Delta x)$ pomocí AD převodníku převedena na diskretní hodnotu. Při kvantování dojde ke ztrátám informací a vzniká tak kvantizační chyba.

Aby bylo možné reprezentovat N jasových úrovní, je potřebný určitý počet bitů. Pomocí jednoho bitu můžeme reprezentovat 2 úrovně jasu (bílou a černou), pomocí 2 bitů můžeme reprezentovat 4 úrovně, 3 bity 8 úrovní, atd., platí $N = 2^K$, kde K je potřebný počet bitů.

Běžně se používá 8 bitů na barvu, tj. $2^8 = 256$ kvantizačních úrovní pro reprezentaci jasové hodnoty. V některých aplikacích je použito až $2^{16} = 65\,536$ kvantizačních úrovní (16 bitů na barvu).

3.2.2 Barevné modely

Pro určení odstínu barvy byly vytvořeny dva barevné modely. První model je adaptivní, výsledná barva u tohoto modelu vzniká sečtením základních barev (RGB). Druhý model je subtraktivní, který naopak od adaptivního modelu odečítá od bílé barvy (CMY). Výsledná barva vznikne smícháním „pigmentů“ barev.

- **Barevný model RGB**

Model RGB se nejčastěji používá pro snímání barevného obrazu a zobrazování na monitoru. Model RGB byl standardizován v roce 1931 komisí CIE. Barevný obraz je složen

aditivně ze tří barev: červené, zelené a modré. Jednotlivým složkám byly přiřazené vlnové délky:

červená = 700 nm

zelená = 546,1 nm

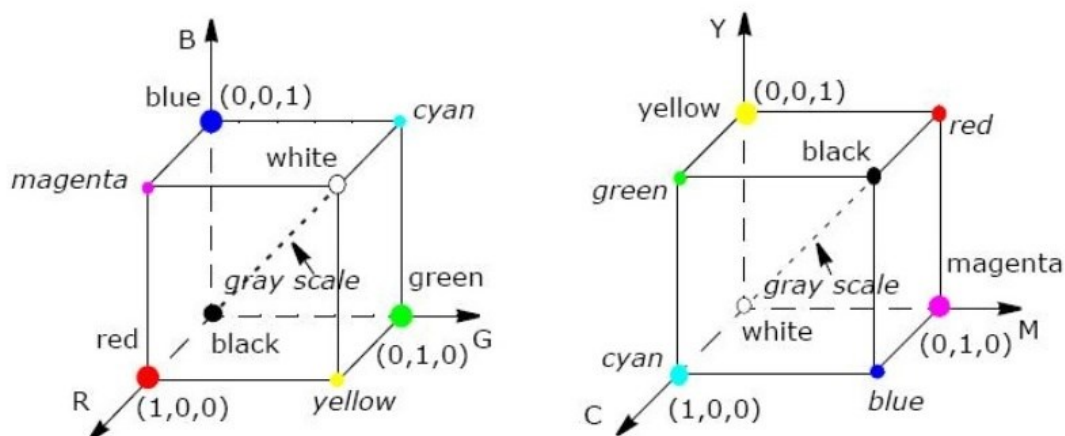
modrá = 435,8 nm

Z technického hlediska je každá barva reprezentována určitým počtem bitů. (běžně 8bit/barvu). Složením jednotlivých barevných složek RGB v patřičném poměru získáme výslednou barvu. V grafických softwarech se setkáváme s modelem RGBA, kde kanál A nese informaci o průhlednosti.

- **Barevný model CMY**

Barevný model CMY (modrozelená, purpurová a žlutá) se používá pro tisk. Říká se mu subtraktivní – analogie překrývání barev u malířských technik. Převod mezi RGB a CMY lze provést pomocí jednoduchého vztahu:

$$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3.1)$$



Obrázek 9 Reprezentace barevného prostoru RGB a CMY

3.3 Předzpracování obrazu

Obraz získaný pomocí snímacího zařízení je nedokonalý. To znamená, že obraz mohl být ovlivněn špatnými světelnými podmínkami, zkreslením obrazu, či šumem. Pro další práci z obrazem je potřeba tyto rušivé elementy odstranit, nebo potlačit.

3.3.1 Transformace jasu

Jedná se o operace, při kterých je hodnota jasu ve vstupním obraze nahrazena dle dané transformační tabulky hodnotou jinou. Tyto metody jsou využívány při úpravách obrazu v aplikacích, kde je potřeba zjednodušení interpretace vizualizovaného obrazu.

- **Převod RGB na odstíny šedi**

Barevný obraz lze převést na obraz v odstínech šedi, kde stíny šedi jsou vyjadřovány hodnotami jasu. Je výhodné převést barevný obraz na hodnoty jasu, snadněji se pak tento

obraz zpracovává, není nutné zkoumat barevné složky separátně. Lidské oko je různě citlivé na jednotlivé složky barev RGB, a tudíž nelze použít prosté sečtení jednotlivých složek, ale pro převod se využívá váhových koeficientů:

$$f = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad (3.2)$$

Kde: f je výsledná úroveň jasu v šedotónovém obraze a R , G a B mají význam úrovní jasů jednotlivých složek daného bodu v barevném obraze.



Obrázek 10 Převod RGB na GREY

- **Logaritmická transformace**

Někdy nastane, při výpočtu týkajících se zpracování obrazu, že výsledné hodnoty jsou v příliš velkém rozsahu (minimální a maximální hodnota). Při zpracování obrazu je někdy využívána transformace, např. Fourierova transformace, kdy je rozsah hodnot obsažených ve výsledku běžně od 0 do 10^6 . Takovýto rozsah hodnot je nesnadné rozumně zobrazit. Interval hodnot je potřeba „zkomprimovat“ tak, aby byl dobře zobrazitelný. Cílem logaritmické transformace je „komprese“ rozsahu hodnot.

Logaritmická transformace je dána vztahem

$$g = c \log (1 + f) \quad (3.3)$$

Kde $f \geq 0$ je hodnota vstupující do transformace a reprezentující hodnotu „jasu“ s nevhodným dynamickým rozsahem, konstanta c slouží k normování výsledku do patřičného intervalu $g \in \langle 0, 255 \rangle$.

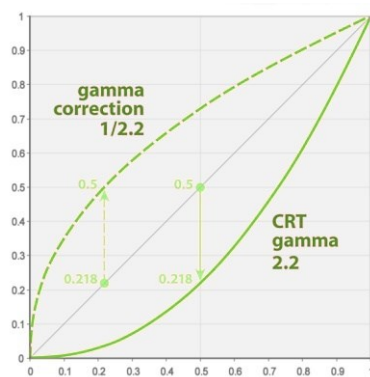
- **Gama korekce**

Důvodem ke vzniku tzv. gama korekce byla nelineární závislost televizních obrazovek.

Gama korekce je využívána nejen k opravě jasu na obrazovce, ale také při opravách špatné expozice, kde je část objektu skryta v příliš tmavé nebo naopak v příliš světlé části obrazu.



Obrázek 11 Gama korekce



Graf 4 Gamma korekce

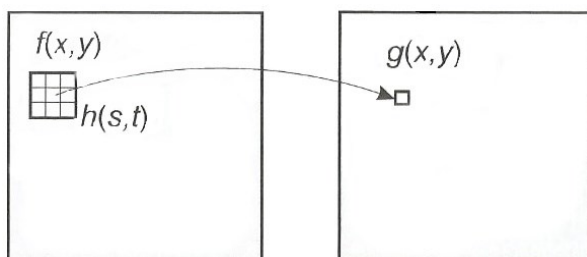
3.3.2 Filtrace zahrnující okolí

Filtrace zahrnující okolí se věnuje metodám vyhlazování obrazu, ostření obrazu a hledání hran a nespojitostí. Filtrace v prostorové doméně je často prováděná na principu tzv. konvoluce.

Kde konvoluce vyjadřuje lineární operaci, např. máme dva obrazy f a g a dvě konstanty a a b . S obrazy provedeme operaci (aplikujeme operátor T). Operace je lineární, pokud platí

$$T(af + bg) = aT(f) + bT(g) \quad (3.4)$$

Kromě konvoluce se při filtraci obrazu využívají i transformace, které nejsou lineární (mediánová filtrace).



Obrázek 12 Operace uvažující okolí

- **Vyhlazování obrazu**

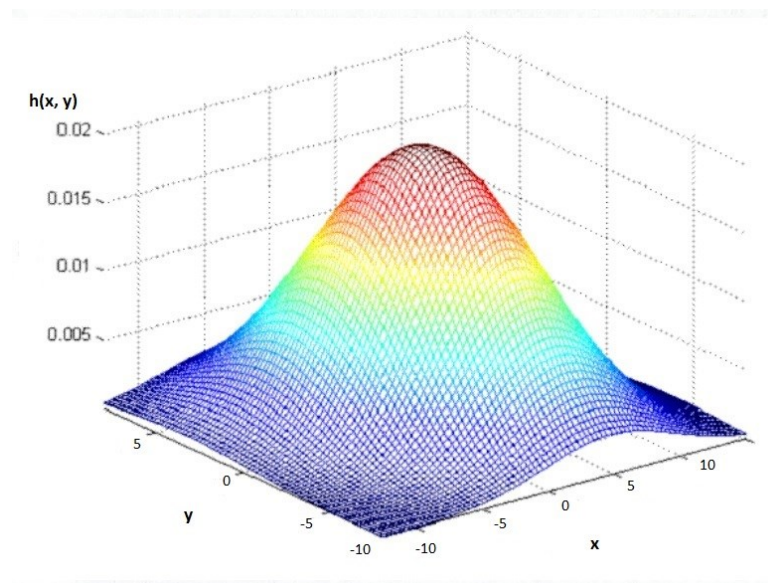
Snímaný obraz ovlivňují nežádoucí vlivy jako je šum. Šum se např. může projevovat jako zrnění. Šum nebo některé nežádoucí artefakty v obraze lze potlačit vyhlazením obrazu. Šum se dělí na více druhů a vždy je třeba zvážit vhodnost a efektivitu metody, neboť výsledky různých metod se mohou dost lišit.

- **Gaussovo vyhlazování**

Další metodou je tzv. Gaussovo vyhlazování, kdy koeficienty blíže středu masky mají vyšší váhu a odpovídají hodnotám na Gaussově křivce. Gaussovo rozdělení hustoty pravděpodobnosti je dáno vztahem

$$h(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.5)$$

kde m je střední hodnota a σ^2 je rozptyl. Hodnota m odpovídá středu masky (často $m = 0$). Na parametru σ závisí strmost Gaussovy funkce (jak rychle bude klesat s rostoucím x).



Graf 5 Příklad Gaussova rozdělení

Na grafu 5 vidíme tvar hustoty pravděpodobnosti $h(x, y)$ pro dvojrozměrný náhodný vektor s Gaussovým rozdělením. Dvojrozměrné Gaussovo rozdělení, kde střední hodnota je $(0, 0)$ je dáno vztahem

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3.6)$$

Funkce hustoty je definována pro všechny body v rovině od $-\infty$ do $+\infty$. Při implementaci v diskrétním případě je třeba velikosti masky omezit. Velikost masky závisí na parametru σ , od určité dostatečně malé hodnoty nejsou již ostatní hodnoty považovány za významné.

Pro velké hodnoty rozptylu σ^2 vychází velikost konvoluční masky příliš velká. Předpokládejme čtvercovou masku o rozměrech $M \times M$ a obraz o rozměrech $N \times N$. Časová náročnost Gaussovy filtrace by byla v řádu $O(M^2N^2)$. Z tohoto důvodu se využívá vlastnosti, které se říká separabilita a filtrace se provádí o velikosti $i \times M$ nejprve ve směru x a pak ve směru y

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) = h(y) * [h(x) * f(x, y)] \quad (3.7)$$

Složitost filtrace je poté v řádu $O(M \times N^2)$. Velké rozměry masek ani tak nejsou praktické. V praxi se někdy používají zjednodušené masky. Dobrých výsledků filtrace obrazu lze často dosáhnout jinými způsoby, např. nelineární filtrací za použití mediánu.



Obrázek 13 Aplikace Gaussova vyhlazení

- **Mediánový filtrace**

Mediánová filtrace je vykazována ve specifických případech velmi dobrými vlastnostmi, např. při potlačování šumu typu *pepř a sůl*. Medián je prostřední prvek v uspořádané posloupnosti hodnot. Při lichém počtu prvků n je to prvek $f_{med} = f_{(n+1)/2}$. Pokud je počet prvků v posloupnosti sudý, je medián aritmetickým průměrem obou prostředních hodnot $f_{med} = (f_{n/2} + f_{(n+1)/2}) / 2$.

Mediánová filtrace je příkladem nelineární filtrace obrazu. Princip filtrace spočívá v posouvání pomyslné masky po obraze a výběru mediánu z hodnot ležících v obraze pod touto maskou.

Pro hledání mediánu by obecně bylo potřeba nejprve hodnoty uspořádat (utřídit), a teprve potom vzít prostřední prvek. Uspořádání N prvků má časovou složitost $O(N^2)$, případně $O(N \log(N))$, dle použité třídící metody. U menších masek lze implementaci provést efektivněji. Místo uspořádání lze v případě masky 3×3 , která má 9 prvků, vybrat pátý největší prvek, v případě masky 5×5 stačí vybrat třináctý největší prvek.

3.3.3 Prahování

Prahování se používá pro převedení obrazu s více úrovněmi jasu (šedotónového obrazu) na obraz, ve kterém se vyskytují dvě jasové úrovně (černá a bílá). Bodům s hodnotou jasu větší než určitá hodnota – práh je přiřazena hodnota 1 (případně 255), ostatním bodům je přiřazena 0. Prahování může být globální nebo lokální.



Obrázek 14 Metoda jednoduchého prahování

U globálního prahování je nalezena nebo zvolena určitá hodnota prahu T a hodnotám jasu v obraze, pro které platí $f(x, y) \geq T$, je přiřazena 1, jinak 0. Tato hodnota prahu T je použita pro celý obraz. U lokálního prahování je hodnota prahu T měněna v různých částech obrazu. Prahování můžeme zapsat jako

$$g(x, y) = 1, \text{ když } f(x, y) \geq T, \text{ jinak } g(x, y) = 0 \quad (3.8)$$

Práh je možno stanovit různými způsoby. Na základě výběru hodnot jasu v obraze nebo z histogramu je možno vybrat práh tak, že zkoušením několika různých hodnot prahů najdeme hodnotu, která dává nejlepší výsledek. Tento přístup je užitečný v interaktivním prostředí, kde uživatel může přenastavit práh pomocí tlačítka a ihned zhlédnout výsledek.

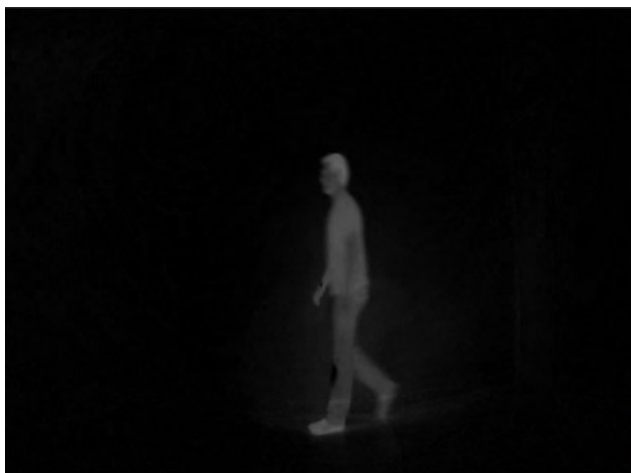
3.4 Detekce pohybu

základní metodou pro zjištění pohybu patří diferenční snímek. Diferenční snímek vzniká odečtením dvou různých obrazů. Na výsledném snímku lze vidět (obrázek 16), co je na snímcích rozdílné. Podstatná nevýhoda takového výsledku je to, že při použití dvou po sobě jdoucích snímků, se neurčuje celý pohybující se objekt, ale jen příslušnou část objektu, kde došlo vlivem pohybu k posunutí.

Pokud je kamera stále na stejném místě a má konstantní světelné podmínky, je nejlepší použít rozdílovou masku na jeden vstupní snímek ze sekvence a na statický snímek. Na obrázku 15 a obrázku 16 je ilustrován vstup a výstup této metody.



Obrázek 15 Obraz pozadí a vstupní obraz

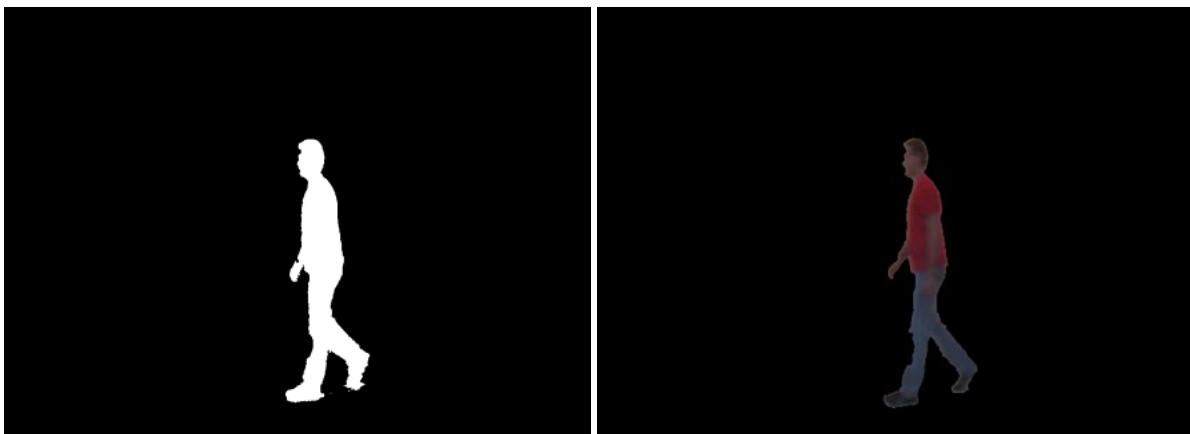


Obrázek 16 Diferenční snímek

3.5 Eliminace pozadí

Eliminace pozadí je velice důležitý proces. Je potřeba ze snímku odstranit nežádoucí elementy, které se na snímcích mohou vyskytovat v podobě změny osvětlení, změna tvaru, barvy, v podobě clonících objektů, nebo ruchu představující pozadí sledovaného objektu.

Získaný diferenční snímek (obrázek 16) obsahuje dostatečné informace o poloze a rozměrech celého pohybujícího se objektu. Ze získaného diferenčního snímku je potřeba získat binární mapu objektu. Ta se získá pomocí segmentační metody prostého prahování (obrázek 17a).

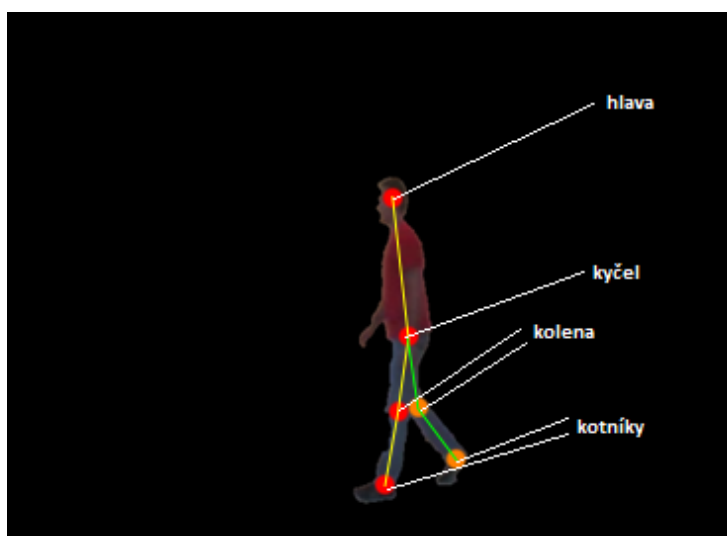


Obrázek 17 Prosté prahování (a), Aplikace binární mapy na původní obraz (b)

Aplikováním získané binární mapy na původní, nefiltrovaný a netransformovaný snímek je viděn na obrázku 17b. Z výsledného snímku je pozadí kolem pohybujícího se objektu odstraněno a takto získána kontura osoby je připravena pro získání námi hledaných údajů o zkoumaném člověku.

3.6 Hledání bodů v kontuře člověka

Při zpracování druhé kapitoly této práce jsem zjistil, že pro identifikaci osoby je potřeba snímat polohu kyčelního, kolenního a hlezenní kloubu. Pro větší přesnost při identifikaci přidám ještě polohu hlavy. Na obrázku 18 je zobrazeno, které body budeme v kontuře hledat.



Obrázek 18 Hledané body v kontuře

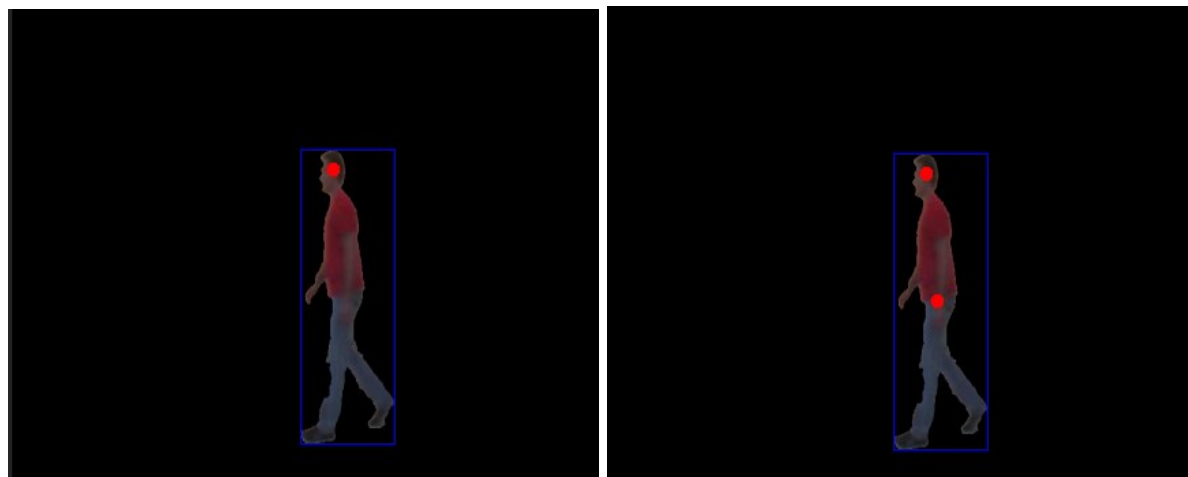
Jako první věc, která je potřeba udělat, je zjistit si ohraničení postavy pro získání výšky (y) a šířky (x). Díky tomu, že jsme v dřívějších krocích eliminovali pozadí, je tento krok celkem jednoduchý. Stačí nám zjistit minimální výšku, šířku a maximální výšku, šířku. Výsledek této operace je viděn na obrázku 19.



Obrázek 19 Ohraničení kontury osoby

Po zjištění hranic kontury můžeme určit umístění hlavy. Z mnoha pokusů jsem zjistil, že poloha y souřadnice je u všech analyzovaných objektů ve stejné vzdálenosti od minimální výšky rámečku. Pouze x souřadnici je potřeba dopočítat pro každý snímek zvlášť. Tento výpočet je založen na zjištění minimální vzdálenosti obličeje od rámečku a zjištění šířky hlavy. Bod je poté umístěn doprostřed hlavy jak je vidět na obrázku 20a.

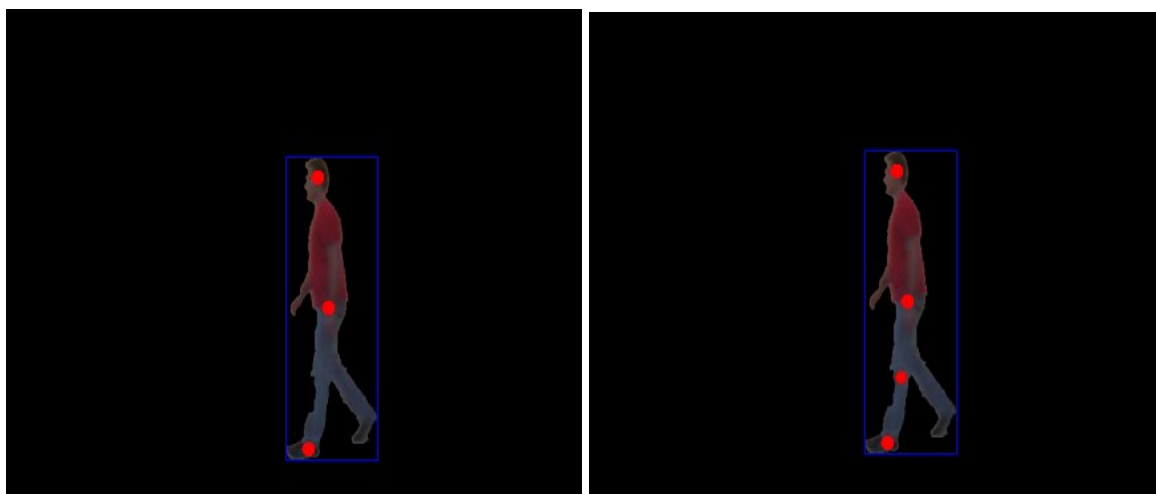
Dále je potřeba nalézt v kontuře osoby kyčelní bod. Tento bod má y souřadnici přibližně v polovině výšky kontury osoby. Zjištění x bodu je tady obtížnější než u nalezení hlavy. Závisí na poloze ruky při chůzi anebo kvalitě filtrace (někdy se při filtraci projeví světlé oblečení na světlém pozadí, takový to případ je obtížné vyfiltrovat). Proto se zde nepočítá kyčelní bod od začátku rámečku, ale začíná se od středu rámečku. Výsledek je viděn na obrázku 20b.



Obrázek 20 Zjištění umístění bodu hlavy (a), Nalezení kyčelního bodu (b)

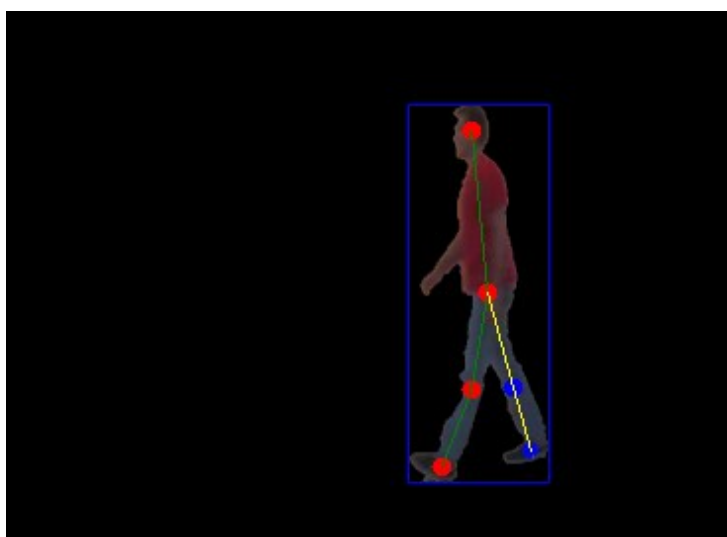
Tímto máme za sebou tu jednodušší část. Teď zbývá určit polohu bodů pro koleno1, koleno2, kotník1 a kotník2. Při hledání těchto bodů jsem přišel na to, že nejjednodušším způsobem je začít u kotníkových bodů. Pro nalezení bodu kotníku1 známe y souřadnici a x souřadnice se zjistí z minimální a maximální délky plosky nohy. Hlezenní bod je umístěn přibližně ve 2/3 od začátku plosky nohy. Nalezený bod je zobrazen na obrázku 21a.

Po zjištění polohy bodu hlezenního kloubu1 můžeme zjistit polohu kolena1. Kolenní kloub má y souřadnici přibližně v polovině vzdálenosti hlezenního kloubu1 od kyčelního kloubu1. Souřadnice x je poté zjištěna stejným principem jako u předchozích případů. Nalezený kolenní kloub1 je zobrazen obrázku 21b.



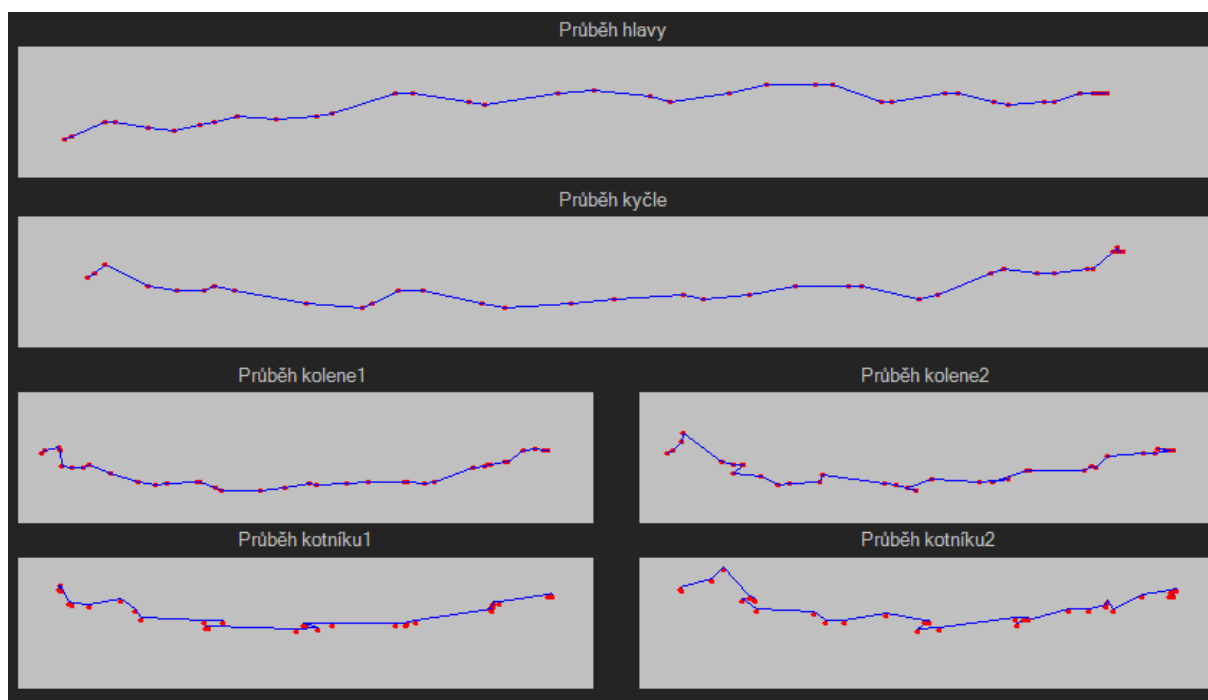
Obrázek 21 Nalezení hlezenního kloubu1 (a), Nalezení bodu kolene1 (b)

Tímto jsme zjistili uložení bodů pro jednu polovinu kontury. Zjištění bodů pro koleno2 a kotník2 je založeno na stejném principu, jenom se počítá od konce rámečku kolem kontury. Výsledek zjištění všech bodů je zobrazen na obrázku 22.



Obrázek 22 Nalezení všech bodů v kontuře osoby

Po aplikování všech popsaných postupů jsme získali námi hledané informace ve snímku. Pro získání přehledu o chůzi daného člověka je potřeba tento postup aplikovat na všechny snímky ze sekvence. Získané body a převedení do grafů je viděno na Grafu 6.



Graf 6 Průběhy kloubů

Získané průběhy neboli sejmuté biometrické údaje následně porovnáme ze všemi uloženými vzorky. Po nalezení shody vypíše informace o osobě, která byla takto rozpoznána. Pokud ze získaných dat nebyla rozpoznána osoba, nabídne její vložení do databáze.

Při hledání vhodných postupů pro přesné nalezení polohy kloubů a hlavy jsem se potýkal z větším množstvím problémů. Jednak neustále se měnící poloha noh ve snímcích zkresluje přesnost kolenních a hlezenních kloubů a proto se jako kyčelní kloub jeví jako nejpřesnější identifikátor. Někdy nastane případ, že nalezený bod neodpovídá anatomickému umístění kloubu na těle, většinou to nastane u kotníku. Proto tyto body jsou zaznamenávány s určitým zkreslením.

4. Analýza možnosti využití neuronových sítí při identifikaci osoby podle chůze

Umělá neuronová síť je struktura pro distribuované paralelní zpracování dat. Je tvořena algoritmy, imitující činnost lidského mozku. Mozek je tvořen větším množstvím vzájemně propojených buněk, nazývajících se neurony. Neurony komunikují pomocí elektrických impulsů.

Při stavění prvních počítačů se snažili programátoři vytvořit algoritmus, jenž má činnost lidského mozku kopírovat. Zde vnikl pojem umělá inteligence.

4.1 Princip sítě

Softwarová neuronová síť je inspirována biologickou neuronovou sítí. Jednotlivé neurony komunikují mezi sebou pomocí spojů, které jsou ohodnocena váhami. Tohle to spojení a schopnost tyto váhy adaptovat (učit se) pomocí trénovacích vzorů v datech, dává neuronové síti široké možnosti použití v oblasti analýzy dat.

Mezi hlavní přednosti neuronové sítě patří schopnost se učit, neboli pamatovat si kombinace vedoucí k požadovanému výstupu a u nových vstupů se potom dívat do paměti a na základě zkušeností odhadovat nový výsledek. Mluvíme tady o generalizaci, která patří taky mezi hlavní přednosti algoritmu neuronových sítí. Jde o dovednost správně zareagovat i na takové vstupy, které nebyly součástí trénovacích dat a vyvodit z nich obecné závěry o datech. Schopnost se učit bývá považována za definici umělé inteligence.

Neuronové sítě do jisté míry jsou schopné pracovat s nepřesnými daty a šumy. Je ale doporučeno vždy provést čištění a přípravu dat.

- **Regrese**

Regresivní analýza se zabývá předpovídáním spojitě proměnné na základě vstupů.

- **Klasifikace**

Na základě úrovně cílové proměnné a kombinace vstupů, které vedou ke konkrétnímu výsledku, bude vytvořen model, který dokáže klasifikovat nová data.

- **Časové řady (regrese)**

Slouží k modelování spojitých proměnných, které prochází vývojem v čase.

- **Časové řady (klasifikace)**

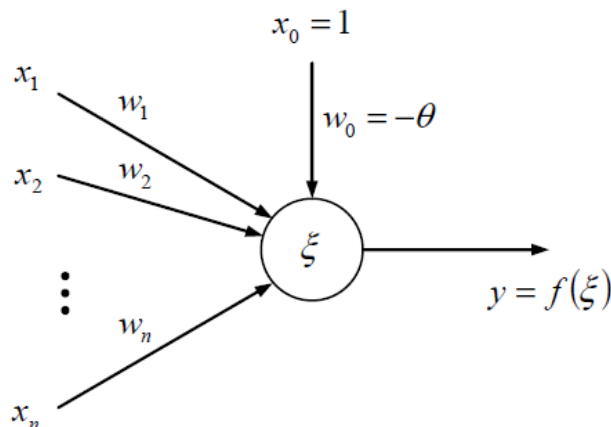
Tento typ analýzy použijeme v případě, že je-li naše cílová proměnná kategorické povahy.

- **Shluková analýza**

Tento typ analýzy nepoužívá závislou proměnnou, cílem je detekovat netriviální shluky v datech. Jde o tzv. Kohenenovu síť. Vstupem jsou pouze hodnoty nezávislých proměnných.

4.2 Neuron

Model neuronu je zobrazen na obrázku 23.



Obrázek 23 Model neuronu

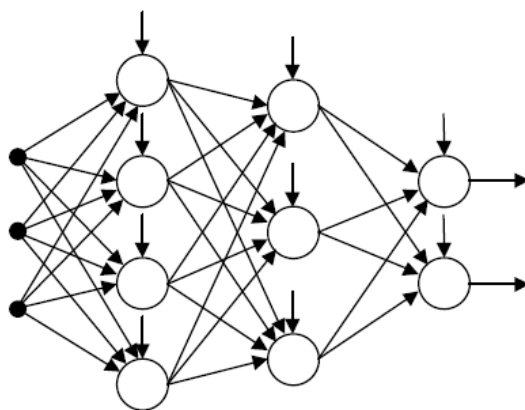
Model neuronu je složen ze tří částí – funkční část, vstupní část a výstupní část. Na základě vah se jednotlivé vstupy potlačují, nebo naopak zvýhodňují.

Funkční část zpracovává informace ze vstupů a generuje výstup. Výstupní část přivádí výslednou informaci na vstup část dalších neuronů. Výstup neuronu $f(\xi)$ je spočítán až suma vstupů neuronů x_i vynásobená jejich konkrétní vahou w_i překročí určitou hodnotu, kterou nazýváme práh (θ). Neuron lze popsat také tímto způsobem

$$y = f(\sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta),$$

kde x_i je konkrétní hodnota na i -tém vstupu, w_i je potom váha tohoto vstupu, θ je prahová hodnota, n je celkový počet vstupů, f je transformační funkce a y je hodnota na výstupu.

Jeden neuron není schopen vykonávat složitější funkci než klasickou regresivní analýzu. Síla neuronové sítě se projevuje až po propojení několika neuronů mezi sebou do větších struktur. Neurony se uspořádají do vrstev.



Obrázek 24 Skupina neuronů

Při představě, že touto sítí tečou přichází data, plyne, že díky složitosti spojení dokáže neuronová síť najít i složitější nelineární vztahy, ale ze získané neuronové sítě nikdy nezískáme interpretaci toho, jak došel k výsledku. Tato metoda se nazývá *black box* – nejsme schopni jednoduše interpretovat výsledky či získat jednoduchý předpis závislosti mezi závislou a nezávislými proměnnými. Tato vlastnost není na škodu, pokud nám jde o předpověď veličiny v oblasti našeho zájmu, ale pokud chceme zjistit i důvody výsledku, pak je tato metoda nevhodná.

4.3 Hrozba přeučení sítě

Obecně platí, že neuronová síť obsahující malý počet neuronů má schopnost vystihnout a popsat závislosti v trénovacích datech slabší. Naopak neuronová síť obsahující příliš velký počet neuronů pravděpodobně nebude mít problém navést a reprezentovat závislosti v trénovacích datech, ale její schopnost generalizace může být horší.

Takovýto jev nazýváme přeučení sítě (*overfitting*). K přeučení sítě dochází ve chvíli, kdy model obsahuje velký počet vstupních parametrů a relativně málo pozorování. Cílem tedy není maximální výkon, ale kompromis mezi výkonem a schopností zevšeobecňovat znalost i na nových datech.

S tím úzce souvisí následující princip rozdělení datového souboru, který neuronové sítě implicitně používají.

- **Trénovací množina**

Náhodně vybraná část dat, která slouží pro učení sítě.

- **Testovací množina**

Další část dat sloužících k zastavení trénování sítě, aby nedošlo k přeučení.

- **Validační množina**

Zbytek dat, na kterém ověříme konečnou kvalitu modelu. Jde o data, které doposud nebyly modelu k dispozici.

Typicky se toto rozdělení dělá v poměru 50-25-25, případně 70-15-15. Ve výsledcích je pak reportován na každé z těchto množin, přičemž většinou vybíráme model, který nemá příliš velké výkyvy mezi výkony na jednotlivých množinách.

4.4 Samoučící se neuronová síť

Mezi základní typy neuronových sítí a také nejpopulárnější patří tzv. SOM, častěji známý po svém autorovi jako Kohenenovy mapy. Ten patří do skupiny samoučících neuronových sítí (učení sítě bez učitele, které ke svému nastavování nepotřebuje ideální vzory).

K učení neuronové sítě stačí jen velká skupina reálných signálů, z nichž některé mají určitou společnou vlastnost nebo naopak výraznou odlišnost a již k nim nemusí být přiřazeny žádné ideální učící signály nebo informace.

Ty v případě učení s učitelem udávají konečný cílový stav, do kterého se musí síť učením dostat. A právě jejich získání bývá často velkým problémem. Naopak u Kohenenových map nám například stačí jen skupina nahraných řečových signálů a během učení si síť sama nalezne společné znaky a odlišnosti, podle kterých se bude ve své aktivní činnosti rozhodovat.

Svojí schopnosti samoorganizace a shlukování objektů s podobnými vlastnostmi do skupin se Kohenenovy mapy přímo předurčují pro aplikace rozhodování, rozlišování, třídění objektů, signálů apod.

4.5 Využití neuronových sítí

Neuronové sítě mají schopnost extrahovat pravidla a trendy z komplikovaných průběhů v datech. Další vlastností je schopnost velmi přesně předpovědět údaje (úspěšnost neuronových sítí je cca 95%), které nebyly součástí trénovacích dat, tedy schopnost zobecňovat. Neuronové sítě se nejčastěji používají k

- Odhadu dynamické stability u energetických systému
- Rozpoznání poruch strojů a výpočetní techniky
- Lékařství – detekce a odhad velikosti nádoru, chemická diagnostika
- Optické rozpoznávání textů, písma, podpisu, chůze, obličeje...
- Bezpečnostní aplikace

Neurofyzikální studie ukazují, že rozpoznávání a analýza je paralelní proces nejlépe odpovídající teorii neuronových sítí. Princip neuronových sítí je tedy vhodný pro využití při identifikaci osob podle stylu jejich chůze.

5. Závěr

Při psaní této práce zabývající se identifikací lidí podle stylu jejich chůze jsem získal přehled o procesech souvisejících s chůzí člověka. Současně jsem získal i zkušenosti se zpracováním a analýzou obrazu.

Rozhodl jsem se program psát v programovacím jazyku c#. Po čase jsem zjistil, že to nebyl nejlepší nápad. Kdybych si vybral jiný jazyk, nemusel bych překonávat tolik překážek. Funkce, které jinde jsou implementovány, jsem si musel naprogramovat sám a pokud náhodou daná funkce byla k doimplementování, tak byla většinou pomalejší, než ta, kterou jsem si naprogramoval sám.

Po mnoha pokusech zpracování a analýzy obrazu jsem došel k závěru, že identifikace lidí na základě jejich chůze ze sekvence statických obrazů je příliš zdoluhavé. Pro další vývoj aplikace chci volit jiný postup. Uvažoval jsem i o aplikaci neuronové sítě, která by podstatně urychlila zpracování dat.

Při eliminaci pozadí jsem také zjistil, že pokud se barva oblečení blíží k barvě pozadí, tak nelze dokonale zjistit konturu postavy osoby. Proto jsem při aplikaci algoritmu zaznamenávání chůze aplikoval pojistku proti zkreslování hodnot. Do budoucna je taky potřeba vyřešit jiné pozadí a hlavně ošetřit barvu oblečení.

Ze získaných dat chůze jedince a jejich následné porovnávání s databází známých chůzí bylo zjištěno, že kyčelní kloub je nejspolehlivější k identifikaci osoby. Je tedy využit jako primární identifikátor osoby.

Při zkoumání postupů pro identifikaci osoby mně napadlo, že podobný postup by se mohl aplikovat i na pohybově postižené osoby. Pomocí získaných dat by bylo možné zajistit vhodnější postup rehabilitace, nebo zhodnotit výsledky rehabilitace.

Navštívil jsem rehabilitační sanatorium v Klimkovicích – dětské oddělení. Pro některé pacienty (a to ty, kteří jsou schopni alespoň částečné lokomoce po dvou končetinách) by bylo možno využít podobný princip analýzy chůze jako při identifikaci. Pro ostatní pacienty je potřeba metodu analýzy vylepšit např. aplikací speciálních terčíků pro získání potřebných dat na těle. Já osobně jsem ve svých sedmi letech přestal chodit důsledkem autoimunitní nemoci a musel jsem se chůzí opětovně učit. Proto vím, že jakékoliv usnadnění rehabilitace velice pomůže. Navíc, tyto rehabilitace pojišťovny neproplácejí z důvodu, že dosud není možné dokázat, že tyto rehabilitace pomáhají. Byl by tak alespoň nějaký důkaz pro argumentaci pojišťovnám.

Rád bych pokračoval ve vývoji aplikace a upravil ji pro pohybově postižené děti a umožnil jim tak do budoucna zlepšit rehabilitační techniky a získat důkaz o změnách v jejich pohybovém ústrojí, který by bylo možno použít pro argumentaci pojišťovnám.

6. Použité vzorce a symboly, Vysvětlení cizích slov

6.1 Použité symboly a vzorce

$f(i, j)$	funkce popisující digitální obraz	$O(M^2N^2)$	složitost
i a j	prostorové souřadnice	$O(M \times N^2)$	složitost
$\Delta x: x_0 + i\Delta x, i$	vzorkovací interval	$O(N^2)$	složitost
$f_s = 1/\Delta x$	vzorkovací frekvence	$O(N \log(N))$	složitost
$f_{MAX} < 1/(2\Delta x)$	maximální frekvence signálu	$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) = h(y) * [h(x) * f(x, y)]$	aplikace filtrace
$f(x) = f(x_0 + i\Delta x)$	Analogová hodnota	$f_{med} = f_{(n+1)/2}$	mediánová filtrace při lichém počtu prvků
$\begin{bmatrix} C \\ M \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$	RGB/CMY	$f_{med} = (f_{n/2} + f_{(n+1)/2}) / 2$	mediánová filtrace při sudém počtu prvků
$f = 0,299R + 0,587G + 0,114B$	převod RGB do odstínu šedi	T	hodnota prahu
$g = c \log(1 + f)$	logaritmická transformace	$g(x, y) = 1, \text{ když } f(x, y) \geq T, \text{ jinak } g(x, y) = 0$	prahování
$T(af + bg) = aT(f) + bT(g)$	Konvoluce	$y = f(\sum_{i=1}^n x_i w_i - \theta)$	popsání neuronu
$h(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$	Gaussovo vyhlazení	$f(\xi)$	výstup neuronu
		θ	prahová hodnota

6.2 Význam cizích slov

<i>token</i>	předmět vyžadován pro identifikaci	<i>extenze</i>	natahování
<i>pronace</i>	rotace chodidla u kotníku směrem dovnitř	<i>transverzotarzální kloub</i>	kloub hlezenní
<i>supinace</i>	rotace chodidla u kotníku směrem ven	<i>subtalární kloub</i>	dolní kloub kotníku
<i>bérec</i>	holeň	<i>hlezenní kloub</i>	kotník
<i>dorziflexe</i>	ohyb kotníku (zápěstí) směrem za hřbetem nohy (ruky)	<i>Metatarzofalanfeální kloub</i>	klouby mezi prvními články prstů
<i>plantární flexe</i>	ohýbání kotníku (zápěstí) směrem za ploskou nohy (dlaní ruky)	<i>femur</i>	stehno
<i>longitudinální osa</i>	svislá osa procházející tělem od hlavy směrem dolů	<i>dorzální flexe</i>	ohnutí nohy nahoru
<i>sagitální rovina</i>	šípová rovina,	<i>pedální lokomoce</i>	pohyb pomocí dolních končetin
<i>transverzální rovina</i>	kolmo k podélné ose k dané části těla	<i>apedální lokomoce</i>	pohyb bez použití končetin - otočení
<i>kontralaterální polovina</i>	ležící na opačné straně	<i>excentrická kontrakce</i>	protáhnutí
<i>addukce talu</i>	pohyb směrem k tělu	<i>koncentrická kontrakce</i>	zkrácení
<i>abdukce talu</i>	pohyb směrem od těla	<i>plantární flexor</i>	ohýbání kotníku směrem za ploskou nohy
<i>flexe</i>	ohýbání	<i>metatarz</i>	nárt
<i>m. semitendinosus</i>	dlouhý vřetenatý sval	<i>m. soleus</i>	široký plochý sval pokrývající hluboké svaly bérce
<i>m. semimebranosus</i>	dvojhlavý sval stehenní – poslední sval zadní strany těla	<i>m. gastrocnemius</i>	součást lýtkového trojhlavého svalu
<i>m. biceps femoris</i>	dvojhlavý sval stehenní	<i>m. triceps surae</i>	trojhlavý sval lýtkový
<i>m. rectus femoris</i>	přímý sval stehenní	<i>m. rectus</i>	přímý sval břišní
<i>aponeuróza</i>	tenká vazivová blána, která je plošně rozprostřenou šlachou.	<i>ischiokruální sval</i>	sval na zadní straně stehna
		<i>sakrální obratel</i>	křížový obratel
		<i>kalkaneu</i>	hrbol patní kosti

7. Literatura

- [1] HORÁK, K.; KALOVÁ, I.; PETYOVSKÝ, P.; RICHTER, M. *Počítačové vidění*. Brno: 2007. s. 1-132.
- [2] SOJKA, Eduard. *Digitální zpracování a analýza obrazů* [online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2000, 133 s. [cit. 2014-03-09]. ISBN 80-707-8746-5.
- [3] Mgr. Ing. ŠČUREK, Ph.D., Radomír. *Biometrické metody identifikace osob v bezpečnosti praxi* [online]. Červen 2008. Ostrava, 2008 [cit. 2014-03-09]. URL: <http://www.biometrickypodpis.cz/PDF/biometricke_metody.pdf>.
- [4] DOBEŠ, Michal. *Zpracování obrazu a algoritmy v C#*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 143 s. ISBN 978-80-7300-233-6.
- [5] WATSON, Ben. *C# 4.0: Řešení praktických programátorských úloh*. Vyd. 1. Brno: Zoner Press, 2010, 656 s. ISBN 978-80-7413-094-6.
- [6] VAŘEKA, Ivan a Renata VAŘEKOVÁ. *Kineziologie nohy*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009, 189 s. Encyklopedie Zoner Press. ISBN 978-802-4424-323.
- [7] HORÁK, K.; RICHTER, M. *Segmentace obrazu pro identifikaci osob pomocí bipedální lokomoce*. In Technical Computing Prague 2009. Praha: HUMUSOFT, 2009. s. 36 (s.)ISBN: 978-80-7080-733- 0.
- [8] VOJÁČEK, A.: *Samoučící se neuronová síť* [online]. 2006-05-14. URL: <<http://automatizace.hw.cz/mereni-aregulace/ART244-samoucici-se{neuronova-sit{som-kohonenovymapy.html>>
- [9] Kačenka, P. *Neuronové sítě* [online]. 2010 [cit. 2012-23-5]. URL: <<http://mks.mff.cuni.cz/library/NeuronoveSitePK/NeuronoveSitePK.pdf>>
- [10] *Úvod do neuronových sítí* [online]. StatSoft. Praha, 2013[cit. 2014-03-09]. URL: <http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2013_02_05_StatSoft_Neuronove_site_linky.pdf>
- [11] *Knihovna MSDN* [online]. URL <<http://msdn.microsoft.com/cs-cz/library/>>

Přílohy

Přílohy k této bakalářské práci jsou uloženy na přiloženém CD. Příloha obsahuje:

1. Testovací videozáznam s chůzí
2. Program pro analýzu chůze (IHW)
3. Uživatelská příručka pro práci s programem IHW v PDF
4. Programátorská dokumentace programu IHW
4. Bakalářská práce ve formě PDF

Uživatelská příručka pro práci s programem IHW je také přiložena v tištěné verzi.